

FACHBROSCHÜRE

Konzepte zur Minderung von Arzneimittleinträgen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung in die Umwelt



Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet IV 2.2 Arzneimittel, Wasch- und Reinigungsmittel
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Autoren:

Rodrigo Vidaurre (Projektleitung)
und Evelyn Lukat
Ecologic Institut, Berlin

Julia Steinhoff-Wagner, Yvonne Ilg und Brigitte Petersen
FoodNetCenter der Universität Bonn, Bonn

Stephan Hannappel
HYDOR Consult GmbH, Berlin

Kurt Möller
Institut für Kulturpflanzenwissenschaften der Universität
Hohenheim, Stuttgart

Redaktion:

Arne Hein, IV 2.2 Arzneimittel, Wasch- und Reinigungsmittel

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

greenvector | fotolia.com

Stand: November 2016

ISSN 2363-832X

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
Zusammenfassung	9
Summary.....	24
1 Einleitung.....	38
1.1 Hintergrund	38
1.2 NutzerInnenleitfaden.....	41
2 Bestehende Konzepte zur Eintragsminimierung von Tierarzneimitteln und deren Beurteilung	42
2.1 Problemstellung.....	43
2.2 Maßnahme: Besetzung von Gremien nach dem One-Health Prinzip	51
2.3 Maßnahme: Neubewertung umweltkritischer Substanzen und Förderung von umweltfreundlichen Substanzen	52
2.4 Maßnahme: Erweiterung der Bewertungskriterien hinsichtlich der Umwelt- risiken bei oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln	54
2.5 Handlungsoptionen auf politischer Ebene	55
3 Abschätzung der Abgabe- und Verbrauchsmengen und Identifikation der Substituti- onspotentiale	56
3.1 Problemstellung.....	57
3.2 Maßnahme: Erweiterung der Antibiotika-Datenbank zu einer Tierarzneimit- tel-Datenbank	66
3.3 Maßnahme: Harmonisierung von Therapieindizes.....	67
3.4 Maßnahme: Festlegung von Wirkstoffen mit besonderer Bedeutung in der Veterinärmedizin durch ein einzurichtendes Fachgremium	68
3.5 Maßnahme: Einführung eines Sachkundenachweises für den Einsatz von Schmerzmitteln.....	69
3.6 Handlungsoptionen auf politischer Ebene	70
4 Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit.....	71
4.1 Problemstellung.....	72
4.2 Getroffene Annahmen	73
4.3 Maßnahme: Reduktion des Keimdrucks	73
4.4 Maßnahme: Risikoorientiertes Gesundheitsmanagement.....	75
4.5 Maßnahme: Produktionsbegleitende Monitoringverfahren	77

4.6	Maßnahme: Artgerechte Haltungsbedingungen.....	78
4.7	Maßnahme: Stärkung des Immunsystems.....	81
4.8	Maßnahme: Bedarfsgerechte Fütterung	82
4.9	Handlungsoptionen auf politischer Ebene	84
5	Einfluss von Düngeraufbereitung auf Bioverfügbarkeit und Abbau von Tierarzneimitteln.....	86
5.1	Problemstellung: Einflussfaktoren auf die Konzentration von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngemitteln und deren Abbau	87
5.2	Maßnahme: Passive Lagerung von Wirtschaftsdüngemitteln	90
5.3	Maßnahme: Kompostierung von festen Wirtschaftsdüngern oder Belüftung von Flüssigdüngemitteln.....	92
5.4	Maßnahme: Anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdüngern	94
5.5	Maßnahme: Aufwändigere Ansätze der Flüssigmistzwischen- und -nachbehandlung.....	96
5.5.1	Fest-Flüssig-Separierung	96
5.5.2	Trocknung	98
5.5.3	Ammoniakstrippung.....	98
5.5.4	Phosphorfällung	100
5.5.5	Aufkonzentrierung durch Membranverfahren	100
5.5.6	Ansäuerung	101
5.5.7	Verdünnung.....	102
5.5.8	Flüssigmistbelüftung.....	102
5.5.9	Pasteurisierung.....	103
5.6	Potential nicht etablierter Verfahren der Wirtschaftsdüngeraufbereitung	104
5.7	Schlussfolgerungen und bestehende Wissenslücken	108
5.8	Handlungsoptionen auf politischer Ebene	110
6	Maßnahmen zur Expositionsminderung.....	112
6.1	Problemstellung.....	113
6.2	Maßnahme: Risikominderungsmaßnahmen bei der Umweltrisikobewertung für Tierarzneimittel.....	115
6.3	Maßnahme: Feldstreifen, Ackerrandstreifen oder Gewässerrandstreifen als Pufferzonen	117
6.4	Maßnahme: Anpassung der Düngeterminierung (witterungsbedingt und saisonal)	119
6.5	Maßnahme: Pflanzenkläranlagen zur Tierarzneimittelminderung im Oberflächenabfluss tierproduzierender Betriebe	121

6.6	Maßnahme: Förderung von abflussbremsenden Strukturen und Vermeidung von abflussbegünstigenden Strukturen	122
6.7	Maßnahme: Flächenmanagement in tierhaltenden Betrieben.....	123
6.8	Maßnahme: Vermeidung des Auftretens von tierarzneimittelhaltiger Sperrmilch.....	124
6.9	Maßnahme: Fachgerechte Entsorgung von Medikamentenreste und Altmedikamenten	125
6.10	Handlungsoptionen auf politischer Ebene	126
7	Landwirtschaftliche Praxis.....	128
7.1	Problemstellung.....	129
7.2	Maßnahme: Verschärfung der bedarfsgerechten Düngung	132
7.3	Maßnahme: Angepasste Ausbringung von flüssigem Wirtschaftsdünger	134
7.4	Maßnahme: Anpassung der Sperrfristen und Düngung nach Nährstoffbedarf	135
7.5	Maßnahme: Einführung bundeseinheitlicher Vorgaben für das Fassungsvermögen von Anlagen zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern.....	136
7.6	Maßnahme: Präzisierung der Beschränkungen für das Aufbringen von Düngemitteln	137
7.7	Maßnahme: Bodenverdichtung vermeiden	138
7.8	Maßnahme: Humusgehalt erhöhen und biologische Aktivität fördern....	139
7.9	Maßnahme: Erosionsschutz	140
7.10	Handlungsoptionen auf politischer Ebene	141
8	Vorsorge durch Kommunikation	143
8.1	Problemstellung.....	144
8.2	Maßnahme: Umweltaspekte in die Ausbildung integrieren	146
8.3	Maßnahme: Erweiterung des Weiterbildungsangebots für Tierhalter und Tierärzte	147
8.4	Maßnahme: Informationskampagnen zu risikomindernden Praktiken für Tierärzte und Landwirte	148
8.5	Maßnahme: Wissenstransfer zu alternativer Entwurmung und Anpassung der geltenden Empfehlungen	149
8.6	Maßnahme: Informationskampagnen für Phytotherapeutika und Futtermittelzusatzstoffe.	150
8.7	Maßnahme: Informationskampagnen für die breitere Öffentlichkeit zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt	151
8.8	Handlungsoptionen auf politischer Ebene	152
9	Umweltmonitoring	154
9.1	Problemstellung.....	155

9.2	Maßnahme: Überwachung der Abluft von Stallstäuben auf Antibiotika-Wirkstoffe	158
9.3	Maßnahme: Monitoring (Screening) von organischen Wirtschaftsdüngern auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe	160
9.4	Maßnahme: Screening von Böden und Sickerwasser auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe.....	161
9.5	Maßnahme: Sektorenübergreifendes Monitoring der Einträge von Antibiotika aus der Tierhaltung in die Umwelt	162
9.6	Maßnahme: Layout eines Grundwasser-Monitorings für das Einzugsgebiet eines Wasserwerks	163
9.7	Maßnahme: Überwachung der Emissionen einer großen Anlage zur Tierhaltung	164
9.8	Handlungsoptionen auf politischer Ebene.....	166
10	Ausblick.....	167
10.1	Forschungsbedarf	167
10.2	Maßnahmen mit dem größten Potential zur kurz- und langfristigen Minderung der TAM -Exposition der Umwelt	168
10.2.1	Workshopergebnisse –Priorisierung der Handlungsfelder durch Workshopteilnehmer	169
10.3	Synergien zwischen den Handlungsfeldern	171
10.4	Wechselwirkungen mit anderen Politikbereichen.....	174
10.4.1	Synergien mit der Gemeinsamen Agrarpolitik.....	174
10.4.2	Synergien mit Klimaschutzaktivitäten in der Landwirtschaft.....	175
10.4.3	Synergien mit Initiativen der Privatwirtschaft und Tierschutzorganisationen.....	177
10.4.4	Potentiell negative Wechselwirkungen mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz	177
11	Glossar	179
12	Literaturverzeichnis	184
13	Anhang	205

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Eintragungspfade von Tierarzneimitteln in die Umweltkompartimente.....	40
Abbildung 2:	Der Weg von Tierarzneimitteln von der Herstellung zum Tier (schwarze Pfeile) und die Meldewege (bunte Pfeile) von den Akteuren zu den unterschiedlichen Datenbanken für Antibiotikamengen	57
Abbildung 3:	Empfehlungen für die frequente strategische Entwurmung von Rindern, Schweinen, Pferden und Schafen in Abhängigkeit von der Lebenszeit (ab Geburt). Die Empfehlungen stammen von Pharmaunternehmen (alle), Webseiten von Tierarztpraxen (Schwein, Rind und Pferd), Webseiten speziesspezifischen Interessensgruppen (Schwein, Pferd und Schaf) und Landwirtschaftskammern (Schwein).	64
Abbildung 4:	Ablaufdiagramm mit den Möglichkeiten der Anwendung von Risikominderungsmaßnahmen im Zulassungsverfahren für Tierarzneimittel (nach Liebig et al., 2014)	116
Abbildung 5:	Potentielle Eintragungspfade von Arzneimitteln in die Umwelt (aus: Hamscher & Mohring 2012)	155
Abbildung 6:	Priorisierung der Handlungsfelder unter Workshopteilnehmern.....	170

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Antibiotikaminimierungskonzepten in drei aktuellen Initiativen (16. AMG Novelle, Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie, BTK, 2015).	45
Tabelle 2:	Abschätzung des Anteils von Tierwissenschaftlern und Tierärzten in Gremien	52
Tabelle 3:	Schätzung des Prozentualen Anteils von QS Betrieben	58
Tabelle 4:	Zuordnung der abgegebenen Mengen an Antibiotika in Wirkstoffklassen (GERMAP, 2012 und Wallmann et al., 2015).....	60
Tabelle 5:	Sulfonamid-Wirkstoffe kategorisiert nach Änderung der Abgabemengen, Dosis und Preis.....	61
Tabelle 6:	Vergleich der Wirkungen verschiedener Maßnahmen der Behandlung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft auf den Abbau von Tierarzneimitteln (in Anlehnung an die Zusammenstellungen in den Tabelle 10 bis 12 im Anhang).....	91
Tabelle 7:	Module in den agrar- und ernährungswissenschaftlichen Studiengängen, die laut Prüfungsordnung bzw. Modulbeschreibung Tierarzneimitteln in die Umwelt thematisieren.....	145
Tabelle 8:	Hauptsynergien zwischen den Handlungsfeldern. (Die Nummern bilden die Kapitelnummern ab. Siehe auch Tabelle 13 für Synergien zwischen den einzelnen Maßnahmen.)	173
Tabelle 9:	Maßnahmen zum Klimaschutz in der Landwirtschaft und ihre Auswirkungen auf die Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt	176
Tabelle 10:	Abbauraten und Halbwertszeiten ausgewählter Tierarzneimittel bei passiver Lagerung von Wirtschaftsdüngemitteln	205
Tabelle 11:	Wirkung der Kompostierung auf Abbauraten und Halbwertszeiten von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngemitteln.....	207
Tabelle 12:	Wirkung der anaeroben Vergärung auf Abbauraten und Halbwertszeiten von Tierarzneimitteln	209
Tabelle 13:	Gegenüberstellung der Maßnahmen der Broschüre in Bezug auf die Verstärkung ihrer Wirkung auf die Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt. (Die Nummern bilden die Kapitelnummern ab. Die Kapitel sind zur besseren Orientierung farblich gekennzeichnet.).....	211

Abkürzungsverzeichnis

AIDA	Aufbau von Allianzen für Informations- und Dienstleistungs-Agenturen
AMG	Arzneimittelgesetz
AMV	Arzneimittelverordnung
ASS	Acetylsalicylsäure
AuA-Belege	Arzneimittelanwendungs- und Abgabebelege
BDF	Boden-Dauer-Beobachtungsfläche
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BSc	Bachelorstudiengang
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
Ca	Kalzium
CH₄	Methan
DART	Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DüV	Düngeverordnung
E. bovis	Eimeria bovis
E. zuernii	Eimeria zuernii
E.coli	Escherichia coli
EMA	Europäische Medizinagentur (European Medicines Agency)
EpG	Eier pro Gramm Kot
ESBL	Extended-Spectrum Beta-Lactamasen
ESBL E	Extended-Spectrum Beta-Lactamasen produzierende Enterobacteriaceae
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GLÖZ	Standards für die Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand
HPLC-MS/MS	Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LANUV NRW	Landesamt für Umwelt, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
Mg	Magnesium

MRSA	Methicillin-resistenter <i>Staphylococcus aureus</i>
MSc	Masterstudiengang
N	Stickstoff
Na-Salicylat	Natriumsalicylat
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NH₃	Ammoniak
NH₄⁺	Ammonium
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NO_x	Stickoxide
OAF	Oral anzuwendende Arzneimittel
ÖVF	Ökologische Vorrangfläche
P	Phosphor
PIA	Porcine Intestinale Adenomatose
PPP	Public-Private-Partnership
QS	Qualität und Sicherheit GmbH
RMM	Risikominderungsmaßnahme (mögliche Umweltauflage bei Zulassung eines Tierarzneimittels)
S	Schwefel
S. Aureus	<i>Staphylococcus aureus</i>
SPF	Specific Pathogen Free
TAM	Tierarzneimittel
TIGA	Tiergesundheitsagentur e.G.
UBA	Umweltbundesamt
UBA AUT	Umweltbundesamt Österreich
VDLUFA	Verband Deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VO	Verordnung
WBA	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik
WHO	Weltgesundheitsorganisation / World Health Organization

Zusammenfassung

Einleitung

Tierarzneimittel (TAM) und ihre Transformationsprodukte sind zunehmend als Umweltkontaminanten im Fokus wissenschaftlicher und öffentlicher Auseinandersetzung.

Bei Verabreichung von Arzneimittel an Tier oder Mensch wird nur ein Teil des Wirkstoffs vom Körper resorbiert, der Rest wird ausgeschieden. Hohe Belastungen von Antibiotika werden in Wirtschaftsdüngern festgestellt, v. a. in der Geflügel- und Schweinehaltung. Tierarzneimittel werden über die Düngung mit belasteten Wirtschaftsdüngern oder unmittelbar durch Ausscheidungen der im Freiland gehaltenen Tiere auf landwirtschaftlichen Nutzflächen freigesetzt. In die Umwelt freigesetzte Tierarzneimittel können negative ökotoxikologische Auswirkungen auf Düngeorganismen wie auch auf Boden- und Wasserorganismen haben.

Aktuelle Messungen dokumentieren Rückstände von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdünger (Dung, Gülle und Gärreste), und deren Verlagerung in Böden und ins Grundwasser. Die Auswirkungen des Einsatzes dieser Rückstände auf Umweltkompartimente sind bisher nicht umfassend untersucht. Diese Probleme sind komplex und werden durch verschiedene Triebkräfte hervorgerufen oder verstärkt, wie z.B. d: Die immense Industrialisierung der Landwirtschaft, nicht zuletzt vom Verbraucher durch den Wunsch nach günstigem Fleisch und Tierprodukten unterstützt. Auf Bundes- (u.a. 16. AMG-Novelle) und Landesebene sowie in der Forschung existieren verschiedene Konzepte zum sorgsamem Umgang und zur Minimierung der Einsatzmengen von Tierarzneimitteln in der Nutztierhaltung. Aber die Verringerung des Tierarzneimitteleintrages in die Umwelt bzw. die Entlastung der Umweltkompartimente stehen meistens nicht im Vordergrund.

Das Projekt hatte daher als Ziel, bestehende Konzepte und Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Tierarzneimitteln in die Umwelt zusammenzutragen und ergänzende Maßnahmen zur Entlastung der Umwelt abzuleiten. In dieser Zusammenfassung werden die so zusammengestellten Maßnahmen kurz dargelegt. In der Fachbroschüre werden weiterführende Informationen, wie der Hintergrund zu den Handlungsfeldern und zur Wirkungsweise der Maßnahmen, erläutert.

Handlungsfeld 1: Bestehende Konzepte zur Eintragsminimierung von Tierarzneimitteln und deren Beurteilung

Maßnahme: Besetzung von Gremien nach dem One-Health Prinzip

Das One-Health Prinzip beinhaltet die inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit nicht nur hinsichtlich der Gesundheitsaspekte von Mensch und Tier, sondern es bettet diese im Gesamtsystem von Umwelt, Nahrung und Handel ein. Die Betrachtung des gesamten Systems garantiert die Abwägung vielfältiger Aspekte bei Entscheidungsfindungen. Nur fachübergreifend besetzte Entscheidungsgremien können ganzheitlichere Entscheidungen garantieren. Dieses sollte über eine entsprechende Information zu Gremienmitgliedern transparent und auswertbar gemacht werden.

Maßnahme: Neubewertung umweltkritischer Substanzen und Förderung von umweltfreundlichen Substanzen

Das derzeitige Pharmakovigilanzsystem beschränkt sich primär auf die Aufdeckung von unerwünschten Nebenwirkungen bei Mensch und Tier. Im Rahmen des kontinuierlichen Monitorings von zugelassenen Tierarzneimitteln sollte das Pharmakovigilanzsystem auch neueste wissenschaftliche Erkenntnisse im Hinblick auf die Umwelrelevanz, der artspezifischen Dosis und Darreichungsform berücksichtigen. Nur so kann die gesetzlich verankerte Nutzen-/Risikoanalyse für die sichere Anwendung von Tierarzneimitteln durchgeführt werden. Dazu sollte das für Tierärzte bestehende Meldesystem für in der Forschung tätige Wissenschaftler geöffnet und erweitert werden.

Maßnahme: Erweiterung der Bewertungskriterien hinsichtlich der Umweltrisiken bei oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln

Durch die Verdrängung von Fütterungsarzneimitteln vom Markt und gleichzeitiger Verschiebung zu den oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln (OAF) haben sich zwei neue Unterscheidungskriterien herausgebildet: in Flüssigkeiten gelöste oder dem Festfutter hinzuzufügende Tierarzneimittel. Vor diesem Hintergrund scheint eine Trennung der beiden Gruppen hinsichtlich der Darreichungsform wie auch eine Erweiterung der Zulassungskriterien um das Löslichkeitsverhalten in Wasser und die Staubentwicklung bei der Einmischung in das Festfutter geboten.

Handlungsfeld 2: Abschätzung der Abgabe- und Verbrauchsmengen und Identifikation der Substitutionspotentiale

Maßnahme: Erweiterung der Antibiotika-Datenbank zu einer Tierarzneimittel-Datenbank

Es gibt fast keine Verbrauchszahlen zum Einsatz von Antiparasitika, Schmerzmitteln und Hormonen. Diese Daten systematisch zu erfassen und auszuwerten, würde die konkrete Lageeinschätzung und Risikobewertung verbessern. Auch die Verbrauchsdaten apothekenpflichtiger Wirkstoffe in Verbindung mit der Zieltierart und der Indikation müssten so dokumentiert werden. Bei der Erweiterung der Erfassung von Verbrauchsdaten von Tierarzneimitteln allgemein soll unbedingt auf bestehende Datenbanken von Wirtschaft und Behörden im Rahmen der Dokumentationspflichten (Stallbuch, AuA-Belege) zurückgegriffen und keine weiteren Erfassungsstrukturen geschaffen werden.

Maßnahme: Harmonisierung von Therapieindizes

Eine negative Auswirkung der derzeitigen Berechnung des Therapieindex ist es, Therapiedauern zu verkürzen, das Gewicht der Tiere zu unterschätzen und damit die eingesetzte Dosis, die sich auf Basis des Körpergewichts berechnet, zu verringern. Daraus ergibt sich ein Zielkonflikt im Hinblick auf die Vermeidung von Antibiotika-Resistenzen, denn eine Unterdosierung oder Verkürzung der Therapie fördert die Bildung von Resistenzen und reduziert die Wahrscheinlichkeit eines Behandlungserfolges. Des Weiteren werden Antibiotika mit hohen Dosen stärker gewichtet als kritischere Wirkstoffe, die in niedrigeren Dosen eingesetzt werden. Das führt zu einer Präferenz von antimikrobiellen Wirkstoffen mit besonderer Bedeutung, One-Shot Antibiotika und zur Vermeidung von Kombipräparaten.

Maßnahme: Festlegung von antimikrobiellen Wirkstoffen mit besonderer Bedeutung in der Veterinärmedizin durch ein einzurichtendes Fachgremium

Für den Humanbereich sind von der WHO Wirkstoffe mit besonderer Bedeutung festgelegt, deren Verwendung an den Nachweis des Wirkverlustes anderer Wirkstoffe gekoppelt ist. In der zum Zwecke dieser Fachbroschüre durchgeführten Literaturrecherche und Interviews haben sich Tierärzte und Landwirte sehr häufig auf die fehlende Definition im Bereich der Veterinärmedizin berufen. Hier sollte durch eine eindeutige Definition für den veterinärmedizinischen Bereich Interpretationsspielraum eingeschränkt werden und eine klare Vorgabe für die Priorisierung von für die Behandlung von resistenten Keimen nicht-kritischen Antibiotika gemacht werden.

Maßnahme: Einführung eines Sachkundenachweises für den Einsatz von Schmerzmitteln

Aus tierschutzrechtlicher Sicht sind Eingriffe am Tier (Kastration und Enthornung) ohne den Einsatz von schmerzlindernden Mitteln verboten; bisher ist dazu jedoch noch keine praxistaugliche Alternative entwickelt. Aus diesem Grund werden Arzneimittelhersteller und Behörden in der „Düsseldorfer Erklärung“ aus dem Jahr 2008 aufgefordert, schnellstmöglich die Voraussetzungen zu schaffen, eine routinemäßige Anwendung von Schmerzmitteln auch durch die Tierhalter zu ermöglichen. Durch die Einführung eines Sachkundenachweises von Tierhaltern für den Einsatz von Schmerzmitteln könnte man die bisher routinemäßig in landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführten Tätigkeiten in ihrer Ablauforganisation erhalten und trotzdem sicherstellen, dass im Sinne des Tier- und gleichzeitig des Umweltschutzes diese Eingriffe nur dann fachgerecht und schmerzmindernd durchgeführt werden, wenn keine andere Haltungsform wirtschaftlich möglich ist.

Handlungsfeld 3: Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit

Maßnahme: Reduktion des Keimdrucks

Reinigung und Desinfektion als prophylaktische Maßnahmen werden zur Reduktion des Infektionsdrucks und Verhinderung der Verschleppung von Erregern zwischen Ställen und Betrieben regelmäßig durchgeführt. Somit lässt sich durch eine Verringerung der Ansteckungsgefahr und Eingrenzung der Krankheitsausbreitung der Verbrauch an antibakteriellen Tierarzneimitteln reduzieren, und damit auch der Eintrag umweltrelevanter Wirkstoffe und resistenter Mikroorganismen und deren Resistenzgene über die Gülle in Boden und Wasser. Wichtig hierbei ist, dass die verwendeten Mengen der Reinigungs- und Desinfektionsmittel lediglich so hoch wie nötig sind. So kann eine unnötige Belastung der Umwelt mit diesen oftmals biologisch reaktiven Substanzen verhindert werden.

Maßnahme: Risikoorientiertes Gesundheitsmanagement

Strukturierte und regelmäßige Monitoring- und Beratungssysteme helfen bei der Früherkennung potentieller Infektionsgefahren, der Differenzialdiagnostik bei Erkrankungen und unspezifischer Symptome sowie bei der Definition des Gesundheitsstatus. Eine frühe Identifikation von Gesundheitsgefahren in Betrieben erlaubt frühes Handeln, wodurch ggf. vor einem Krankheitsausbruch geschützt werden kann. Im Sinne eines One-Health Ansatzes sollten zur betriebsspezifischen Risikoerkennung der Verschleppung resistenter Mikroorganismen durch ein Monitoring von Tier-Mensch-Umwelt/Luft-Wasser bezogen auf das Biotop Tierstall in bestehende

Gesundheitsmonitoring-Verfahren integriert werden. Geeignete Indikatoren für betriebsspezifische ‚hot spots‘ sind MRSA und ESBL.

Maßnahme: Produktionsbegleitende Monitoringverfahren

Bei den Maßnahmen handelt es sich um Koordinationsdienstleistungen für Tierhalter und bestandsbetreuende Tierärzte, um Tiere vor Infektionen zu schützen, vorhandene Krankheiten schnell zu erkennen und ggf. Maßnahmen zum Schutz noch nicht infizierter Tiere zu ergreifen. Hierdurch sollen die Infektionsraten möglichst gering gehalten und dadurch auch der Einsatz von Tierarzneimitteln reduziert werden. In Betrieben mit einem solchen strukturierten und systematischen Gesundheitsmanagement wurde beobachtet, dass signifikant weniger Antibiotika eingesetzt werden. In einigen EU-Ländern, wie beispielsweise Dänemark oder die Niederlande, ist die Koordination von überbetrieblichen Gesundheitsmanagement-Maßnahmen für den Export von Tieren und Lebensmitteln bereits seit Jahren eine Aufgabe, die als gemeinsame Public-Private-Partnership (PPP) angegangen wird.

Maßnahme: Artgerechte Haltungsbedingungen

Zahlreiche Studien belegen den gesundheitsfördernden Effekt einer artgerechteren Haltung. Verbesserte Haltungsbedingungen reduzieren die Anzahl von Stressoren für die Tiere und stärken deren Widerstandskraft gegen Infektionen. Dies bedingt wiederum weniger behandlungswürdige Erkrankungen und damit einen verringerten Einsatz von Tierarzneimitteln. Der Zugang zum Außenbereich in einigen extensiven Tierhaltungsanlagen birgt neben vielen Vorteilen für die Tiere aber auch zusätzliche Risiken für die Tiergesundheit. Bautechnische Anpassungen der Gehege können dieses Risiko verringern. Bauliche Maßnahmen, die einerseits den Keimdruck verringern, andererseits durch Verbesserung des Bodenbelags die Klauengesundheit der Tiere verbessern sowie Verletzungsgefahren verringern, können zu einer Senkung der Erkrankungsrate beitragen. Hierdurch ist ein verringerter Einsatz von umweltrelevanten Tierarzneimitteln zu erwarten.

Maßnahme: Stärkung des Immunsystems

Bei zahlreichen Erkrankungen ist die prophylaktische Impfung nicht infizierter Tiere oder ganzer Herden eine der wirkungsvollsten Schutzmaßnahmen. Tierartspezifische Empfehlungen werden von der „Ständigen Impfkommision Veterinärmedizin“ erarbeitet. Impfungen stellen für viele Erkrankungen den sichersten Schutz dar. Für Jungtiere ist zudem die ausreichende Versorgung mit Kolostrum ein entscheidender Faktor zur Stärkung der Immunabwehr. Durch die Maßnahmen zur Stärkung der Immunabwehr und der damit einhergehenden Reduzierung der Erkrankungsraten ist somit auch ein verringerter Tierarzneimiteinsatz zu erwarten.

Maßnahme: Bedarfsgerechte Fütterung

Phytogene Futtermittelzusätze werden als Alternativen zur Stabilisierung der Darmflora bei produktionsbedingten Fütterungsumstellungen diskutiert. Es handelt sich um ausschließlich aus Pflanzen gewonnene Substanzen, die Kräuter und Gewürzen umfassen können. In der Verordnung über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung sind über 200 Einträge zu Kräuterextrakten und ätherischen Ölen zu finden. Diese sollen, wenn sie dem Futter zugesetzt sind, eine leistungssteigernde Wirkung haben. Zudem sind einige Pflanzenextrakte antimikrobiell, antiprotozoisch oder antioxidativ. Durch den Zusatz von Pflanzenkohle zum Futter sind sowohl beim Rind als auch beim Geflügel eine Bindung von Toxinen im Magen-Darm-Bereich beobachtet worden.

Handlungsfeld 4: Einfluss von Düngeraufbereitung auf Bioverfügbarkeit und Abbau von Tierarzneimitteln

Maßnahme: Passive Lagerung von Wirtschaftsdüngemitteln

Bei einer passiven Lagerung von Wirtschaftsdünger wird das Material bis zur Ausbringung auf landwirtschaftliche Nutzflächen gesammelt und mit oder ohne Abdeckung gelagert. Während der Lagerung nehmen die Konzentrationen zahlreicher Tierarzneimittel ab. Die Halbwertszeiten sind stark wirkstoffabhängig und von der Temperatur im Substrat beeinflusst. Bei der Lagerung sind jedoch positive wie negative Effekte zu beachten, die teilweise auch andere Schutzgüter betreffen: Mit steigender Lagerdauer sinkt der Keimbesatz, also ein positiver Effekt. Allerdings ist jede Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft mit Klimagasemissionen verbunden, welche umweltschädlich sind, sofern die Abgase nicht gezielt behandelt werden. Zudem können vor allem bei der Lagerung von Festmistern und separierten Feststoffen erhebliche Nährstoffverluste eintreten, insbesondere Stickstoff und Kalium.

Maßnahme: Kompostierung von festen Wirtschaftsdüngern oder Belüftung von Flüssigdüngemitteln

Eine Kompostierung ist der gezielte aerobe Abbau von stapelfähiger organischer Masse. Sie kann vornehmlich zur Behandlung von Festmist wie auch für die Feststoffe nach der Fest-Flüssig-Separierung von Substraten wie Gülle oder Gärresten verwendet werden. Eine Kompostierung beschleunigt den Abbau zahlreicher Tierarzneimittel und verkürzt die entsprechenden Halbwertszeiten im Vergleich zu einer einfachen Lagerung. Bei der Kompostierung sind positive wie negative Effekte zu beachten. Im positiven Sinn kann ein starker Temperaturanstieg bei der Kompostierung zu einer weitgehenden Hygienisierung des Düngemittels führen. Im negativen Sinn kann die Kompostierung mit erheblichen Klimagasemissionen verbunden sein, wenn diese nicht eingehaust und mit einer Abluftreinigung versehen erfolgt. Die Nährstoffverluste sind deutlich stärker als bei einer passiven Lagerung von Festmistern.

Maßnahme: Anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdüngern

Nahezu sämtliche Wirtschaftsdünger sind grundsätzlich zu einer Vergärung in einer Biogasanlage geeignet, stapelfähige wie flüssige. In der Regel werden Biogasanlagen in einem Temperaturbereich zwischen 37 und 45 °C (mesophil) bzw. zwischen 50 und 55 °C (thermophil) betrieben. Der Vergärungsprozess führt unter anderem zu einer Verringerung der Gehalte an organischer Masse, was die Mobilisierung adsorbierter Tierarzneimittel zur Folge hat, welche im Zuge der Fermentierung abgebaut werden können. Die anaerobe Vergärung beschleunigt ähnlich wie die Kompostierung die Reduzierung der messbaren Gehalte von zahlreichen Tierarzneimitteln (z.B. Tetrazyklin, Oxytetracyklin, Ciprofloxacin, Tylosin, Progesteron etc). Allerdings ist die anaerobe Vergärung bei bestimmten Wirkstoffen weniger effizient als die Kompostierung oder passive Lagerung von stapelfähigen Wirtschaftsdüngemitteln (z.B. Chlortetrazyklin, Östrogene, Monensin). Eine in der Praxis wichtige Behandlungsoption ist die Zumischung von unbelasteten Substraten nachwachsender Rohstoffe (NawaRo) zur Erhöhung der spezifischen Energieausbeuten. Die Zumischung und Vergärung von faserreichen Substraten wie Mais erfordert verlängerte hydraulische Verweilzeiten im Biogasfermenter und führt zu einer Verdünnung von Tierarzneimitteln im Substrat. Es liegen keine Untersuchungen über die möglichen Auswirkungen der Zumischung von NawaRo-Substraten vor.

Bei der anaeroben Vergärung von Wirtschaftsdüngern sind aber auch Effekte zu beachten, die teilweise andere Schutzgüter betreffen. Vorteile der Vergärung sind neben der starken Hygienisierungswirkung der weitgehende Erhalt aller Nährstoffe im System sodass keine Veränderung im Nährstoffspektrum eintreten, eine Verringerung der NO_x - und CH_4 -Emissionen während der Lagerung, der Ersatz fossiler Energieträger durch regenerative Energien sowie eine Verringerung der Geruchsemissionen. Pflanzenbauliche Vorteile sind eine Erhöhung der N-Düngewirkung im Jahr der Anwendung. Nachteilig ist das hohe nachfolgende NH_3 -Emissionsrisiko (ggf. auch N_2O aus gelagerten Feststoffen) während des gesamten Düngermanagements einschließlich der Ausbringung.

Aufwändigere Ansätze der Flüssigmistzwischen- und -nachbehandlung

Derzeit werden zahlreiche Ansätze zur Behandlung von Flüssigdüngemitteln (Gülle, Gärreste) eingesetzt oder entwickelt. Teilweise dienen diese auch der Vor- oder Nachbehandlung der Wirtschaftsdünger vor Vergärung in einem Biogasfermenter.

Maßnahme: Fest-Flüssig-Trennung

Eine Fest-Flüssig-Trennung wird sowohl zur Vorbehandlung von Gülle vor einer Weiterverarbeitung (Vergärung, Trocknung) als auch zur Nachbehandlung von Gärresten eingesetzt. Die organische Masse sowie die Nährstoffe Phosphor, Magnesium und Calcium und viele Tierarzneimittel werden vor allem in die feste Fraktion, Ammonium überwiegend in die flüssige Fraktion abgeschieden, wohingegen Kalium sich gleichmäßig aufteilt. Mit einer Fest-Flüssig-Trennung werden Eigenschaften der Flüssigphase für Ausbringung oder Weiterbehandlung (z.B. Ammoniakstrippung, Phosphor-Fällung, Membranverfahren) verbessert, die Stickstoff-Effizienz durch Verringerung des C/N-Verhältnisses in der Flüssigphase erhöht, gezieltere Ausbringung von Nährstoffen aus Wirtschaftsdüngern ermöglicht und eine Volumenreduktion für den Nährstoffexport erzielt.

Maßnahme: Trocknung

Durch direkte Trocknung von Flüssigmisten oder der Trocknung der festen Phase aus der Fest-Flüssig-Trennung werden lagerfähige und vermarktbar Düngemittel mit hohen Nährstoffkonzentrationen hergestellt. Hierbei können Heiß- oder Kaltlufttrocknung eingesetzt werden. Bei den Heißluftverfahren wird das Trocknungsgut Temperaturen von über $80\text{ }^\circ\text{C}$ ausgesetzt. Hierbei entsteht eine Abluft, die Ammoniak, flüchtige organische Verbindungen und Staub enthält (Gaswäsche). Die Trocknung findet bei Temperaturen von $> 60\text{ }^\circ\text{C}$ statt. Durch den angelegten Unterdruck werden flüchtige Bestandteile und Wasser aufgefangen. Ammoniak kann durch eine Gaswäsche zurückgewonnen werden.

Maßnahme: Ammoniakstrippung

Ziel der Ammoniakstrippung ist die Herstellung eines hoch konzentrierten N-Mineraldüngers und eines teilweise N-reduzierten Flüssigdüngers. Durch Erhöhung der Temperatur und des pH-Wertes können Ammoniumhydrogenkarbonat (NH_4HCO_3), Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) oder Ammoniumphosphat ($(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$) wiedergewonnen werden. Da das Puffervermögen von Flüssigmisten ganz wesentlich durch Karbonat und Ammonium bestimmt wird, führt diese Methode zu einer starken Abnahme des Puffervermögens im Substrat. Die Strippung des Ammoniaks reduziert die Gefahr von N-Emissionen in der gesamten nachfolgenden Kette des Wirtschaftsdüngermanagements (z.B. Lagerung, Ausbringung).

Maßnahme: Phosphorausfällung

Ziel des Verfahrens ist die Herstellung eines mineralischen Phosphordüngers (Calciumphosphat oder Struvit). Dieses wird durch die Erhöhung des pH-Wertes sowie die Zugabe von Calcium oder Magnesium erreicht, wodurch ein teilweise P-entfrachteter Gärrest erzeugt wird.

Maßnahme: Aufkonzentrierung durch Membranverfahren

Zu den Membranverfahren gehören die Nano- und Ultrafiltration sowie die Umkehrosmose. Bei der Filtration mit anschließender Umkehrosmose handelt es sich um Trennverfahren, bei dem nach einer vorangegangenen Fest-Flüssig-Trennung aus der Flüssigphase Feinpartikel und gelöste Elemente und Stoffe wie Ammonium und organische Verbindungen abgetrennt werden können. Dabei entsteht einleitfähiges Wasser sowie ein eingedicktes, mengenreduziertes Wirtschaftsdüngerkonzentrat, welches durch den erhöhten Nährstoffgehalt eine höhere Transportwürdigkeit hat, wobei Parameter wie Temperatur, pH-Wert und Redoxpotential nicht verändert werden müssen.

Maßnahme: Ansäuerung

Um gasförmige N-Verluste zu reduzieren und somit die Stickstoffeffizienz zu erhöhen, können Flüssigmiste oder Flüssigseparate durch die Behandlung mit starken Säuren (z.B. H_2SO_4) eingesäuert werden. Die Anwendung findet meistens während der Ausbringung durch Zumischung von Säure in den Verteilerkopf des Ausbringungsgerätes statt. Durch die Verringerung des pH-Wertes gehen Phosphor sowie andere Elemente in Lösung und können so von Pflanzen direkt aufgenommen werden.

Maßnahme: Verdünnung mit Wasser

Durch Wasserzugabe wird die Infiltration des Materials in den Boden beschleunigt und die Konzentration an Ammonium verringert – beides reduziert die Gefahr von NH_3 -Emissionen. Allerdings ist diese Maßnahme mit einem erheblichen logistischen Mehraufwand bei der Ausbringung verbunden.

Maßnahme: Flüssigmistbelüftung

Bei der Flüssigmistbelüftung wird aktiv Umgebungsluft in den Flüssigmist eingeblasen. Man verspricht sich durch Belüftung eine aerobe Stabilisierung des Materials und die Verhinderung von anaeroben Fäulnis- bzw. Fermentationsvorgängen und damit u.a. eine bessere Pflanzenverträglichkeit.

Maßnahme: Pasteurisierung

Die Maßnahme dient zur Hygienisierung potentiell kontaminierter Substrate. Dabei wird das Substrat Temperaturen von mehr als 70 °C über einen Zeitraum von über einer Stunde ausgesetzt. Inwieweit sich eine Pasteurisierung auf die Aktivität von Tierarzneimittel auswirkt, kann nicht abgeschätzt werden. Es ist jedoch denkbar, dass die relativ hohen Temperaturen bestimmte Tierarzneimittel inaktivieren (siehe Maßnahme Trocknung), zudem führt die Wärmebehandlung zu einer höheren Abbaubarkeit des Substrates und verringert damit mittelbar die Sorptionskapazität des Substrates.

Handlungsfeld 5: Maßnahmen zur Expositionsminderung

Maßnahme: Risikominderungsmaßnahmen bei der Umweltrisikobewertung für Tierarzneimittel

Bei der Zulassung von Tierarzneimitteln wird eine Umweltrisikobewertung durch das Umweltbundesamt durchgeführt. Bei Überschreitung gewisser Schwellenwerte und nach Verfeinerung der vorausgesagten Umweltkonzentrationen können Risikominderungsmaßnahmen formuliert werden. Um als Risikominderungsmaßnahmen (RMM) im Sinne der Zulassung zu gelten, muss eine Maßnahme gewisse Kriterien erfüllen, wie z.B. Effektivität, Nachprüfbarkeit und Übereinstimmung mit landwirtschaftlicher Praxis. Um zu greifen, müssen diese Maßnahmen von den Adressaten der Risikominderungsmaßnahmen umgesetzt werden. Sie werden in den Fachinformationen und den Beilagen der Produkte mit dem Ziel aufgeführt, ein Verhalten zu verursachen, dass über die gute landwirtschaftliche Praxis hinausgeht.

Es gibt bisher keine Studien, die den Erfolg dieser Maßnahmen in der Praxis evaluiert haben. In Fachkreisen gibt es erheblichen Zweifel zur Einhaltung dieser Risikominderungsmaßnahmen in der praktischen Anwendung. Besonders für diejenigen Maßnahmen, die Vorschriften zur Düngung mit tierarzneimittelbelasteter Gülle formulieren, scheint eine große Kluft zwischen Theorie und Praxis zu bestehen, da Gülle lokal vertrieben wird.

Maßnahme: Feldstreifen, Ackerrandstreifen oder Gewässerrandstreifen als Pufferzonen

Natürlich belassene oder mit Gras oder Blühpflanzen bepflanzte Streifen auf landwirtschaftlichen Flächen (Zwischenfeldstreifen) oder an deren unteren Rändern (z.B. Ackerrandstreifen, Blühandstreifen) dienen als Maßnahmen für den Schutz gegen Wassererosion, für den Abbau organischer Agrochemikalien und für den Erhalt von Biodiversität. Für Wassererosion und Agrochemikalien sind hydrologisch relevante Parameter wie räumliche Disposition und Breite, aber auch Art der pflanzlichen Bedeckung – mit Einfluss auf mikrobiologische Aktivität im Boden - von größter Bedeutung. Gewässerrandstreifen unterscheiden sich von Feld- oder Ackerrandstreifen hauptsächlich in ihrer Platzierung unmittelbar neben und entlang Oberflächengewässern. Sie werden in der Regel breiter angelegt als Feldrandstreifen, und umfassen nicht nur Gras oder andere Halmpflanzen sondern auch Büsche und Bäume.

Maßnahme: Anpassung der Düngeterminierung (witterungsbedingt und saisonal)

Eine witterungsbedingte Anpassung der Düngung könnte den Abtransport von Tierarzneimitteln von den Feldern hin zu Oberflächengewässern durch Oberflächenabfluss und Drainagen sehr bedeutend mindern. Die Evaluierung der Wirkung dieser Maßnahme in der Praxis steht jedoch noch aus. Wie stark der Einfluss der Witterung sein kann, zeigt eine Studie, in der das gleiche Feld mit identisch tierarzneimittelbelasteter Gülle zu zwei verschiedenen Zeitpunkten behandelt wurde: Unter nasserem Bedingungen wurde ein 22-fach höherer Höchstwert des untersuchten Tierarzneimittels im Oberflächenabfluss gemessen. Auch der kumulierte Abtransport des Stoffes von der landwirtschaftlichen Fläche war mit einem 15-fachen Unterschied bedeutend höher. Für Pflanzenschutzmittel gibt es langjährige Erfahrungen für eine witterungsbedingte Anpassung der Anwendungsterminierung.

Eine saisonale Terminierungsanpassung der Düngung ist auch denkbar – sie wird zu einem gewissen Grad auch schon in den Vorschriften der Düngeverordnung angewandt. Düngieranwendungen zu Zeitpunkten, zu denen die Flächenverhältnisse einen Abfluss auf der Feldfläche verlangsamen, die durch erhöhte pflanzliche und mikrobiologische Aktivität den Abbau von Tierarzneimitteln begünstigen oder durch eine erhöhte pflanzliche Masse in den

Ackerrandstreifen zu verbesserten Abflussbedingungen nach dem Feld führen, würden sich günstig auf Tierarzneimittelgehalte in den Abflüssen oberirdischer Gewässer und im oberflächennahen Grundwasser auswirken.

Maßnahme: Pflanzenkläranlagen zur Tierarzneimittelminderung im Oberflächenabfluss tierproduzierender Betriebe

Pflanzenkläranlagen (auch „künstliche Feuchtgebiete“ oder „konstruierte Feuchtgebiete“) werden seit längerer Zeit zum Abbau von Nährstoffen im Oberflächenabfluss landwirtschaftlicher Betriebe eingesetzt. Sie haben auch Potenzial für den Abbau diffuser Pflanzenschutzmitteleinträge und erste Studien zeigen eine Minderungswirkung für Oberflächenabfluss von tierproduzierenden Betrieben, sowohl in Hinsicht auf Pathogene wie auch auf Tierarzneimittel. Pflanzenkläranlagen bieten Mikroumgebungen an, in welchen verschiedene Minderungsprozesse stattfinden können.

Maßnahme: Förderung von abflussbremsenden Strukturen und Vermeidung von abflussbegünstigenden Strukturen

Langsamerer Oberflächenabfluss von einer landwirtschaftlichen Fläche vermindert den Abtransport von Tierarzneimitteln dank mehrerer gleichzeitig wirkender Prozesse: (1) Erhöhte Bodeninfiltration und dadurch Interaktionen der gelösten Tierarzneimittel in den Bodenhorizonten; (2) Begünstigte Absetzung von Bodenpartikeln und den an ihnen gebundenen Schadstoffen; (3) Erhöhte Verweilzeit des Oberflächenabflusses auf der Feldoberfläche, dadurch erhöhte Wahrscheinlichkeit von sowohl Adsorption wie auch Abbau von Tierarzneimitteln. Ein Beispiel abflussbremsender Strukturen sind bewachsene Gräben an Feldrändern. Im Vergleich zu herkömmlichen Gräben wirkt die Bepflanzung abflusshemmend, was wiederum die Infiltration und die oben aufgelisteten Prozesse begünstigt. Umgekehrt können abflussfördernde Strukturen (wie z.B. Fahrgassen auf den Feldern) den Abtransport von gelösten und partikelgebundenen Schadstoffen begünstigen. Ihre Vermeidung bzw. ihre Anpassung können den Eintrag von Tierarzneimitteln im Oberflächenabfluss verringern bzw. über die Zeit strecken und ihre Adsorption und Abbau auf den Feldern und im Boden begünstigen.

Maßnahme: Flächenmanagement in tierproduzierenden Betrieben

Die Forschung zeigt höchst unterschiedliche Tierarzneimittelkonzentrationen in Böden eines landwirtschaftlichen Betriebes, je nachdem was für eine Funktion dieser Fläche zukommt. Ein Beispiel sind Areale, die zur Fütterung dienen und die signifikant höhere Tierarzneimittelkonzentrationen in ihren Böden als andere Areale der untersuchten Betriebe vorweisen. Ein angepasstes Flächenmanagement, das diese Zusammenhänge wie auch die Hydrologie auf dem Betriebsgelände mit berücksichtigt, kann den Abtransport von Tierarzneimitteln im Oberflächenabfluss mindern und ihren Abbau fördern. Zum Beispiel können die Bestimmungen der Flächen so festgelegt werden, dass die Bereiche eines Betriebes, die in der Regel höhere Tierarzneimittelkonzentrationen aufweisen (in Rinderfarmen z.B. dort, wo sich Rinder sammeln), in hydrologisch günstigere Arealen verortet werden.

Maßnahme: Vermeidung des Auftretens von tierarzneimittelhaltiger Sperrmilch

Sperrmilch bezeichnet Milch, die nicht verkehrsfähig ist und damit nicht in den Handel gelangen darf. Darunter fallen sowohl Biestmilch (Biestmilch oder synonym Kolostrum bezeichnet die wertvolle erste Milch nach der Geburt), als auch Milch, die aufgrund von möglichen Arzneimittelrückständen während der Behandlung und der Wartezeit gemolken aber nicht

abgegeben werden darf. Schätzungen zufolge handelt es sich dabei um ca. 1-4 % der gesamten, erzeugten Milchmenge. Bei der Entsorgung der Sperrmilch gelangen die bereits aufgefangenen Arzneimittelrückstände in der Milch wieder in die Umwelt. Das müsste vermieden werden.

Maßnahme: Fachgerechte Entsorgung von Medikamentenreste und Altmedikamenten

Zur möglichen Bedeutung einer nicht fachgerechten Entsorgung von Medikamentenresten (vorwiegend in die Gülle und seltener in die Kanalisation) als Eintragspfad für Tierarzneimittel in die Umwelt gibt es so gut wie keine Informationen. Für Pflanzenschutzmittel und Humanarzneimittel kann dieser Eintragspfad aber sehr signifikant sein. Für Tierarzneimittel hängt die Frage der sachgemäßen Entsorgung mit dem individuellen Stoff zusammen, da manche vom Tierarzt verabreicht werden und bei anderen der Landwirt für die Verabreichung zuständig ist. Rücknahmesysteme für unverbrauchte Medikamente könnten in Analogie zu denen für Humanarzneimittel aufgebaut werden, was zu guten Erfolgen in einigen EU-Ländern führte.

Handlungsfeld 6: Landwirtschaftliche Praxis

Maßnahme: Verschärfung der bedarfsgerechten Düngung

Die Vorschläge für die Reform der Düngeverordnung sehen vor, dass Landwirte eine obligatorische Bedarfsermittlung vor der Düngeausbringung vornehmen müssen. Indem die Ausbringung von organischem und organisch-mineralischem Dünger auf ein errechnetes Nährstoffgleichgewicht ausgerichtet wird, kann der Eintrag von Tierarzneimitteln in die Umwelt verringert werden, da insgesamt die Menge des auszubringenden organischen oder organisch-mineralischen Düngers verringert wird. Effizientere Nährstoffmanagement-Pläne könnten unter Nutzung von spezifischen Instrumenten (z.B. Bodenanalysen) entwickelt werden und alle relevanten Einträge und Austräge (z.B. atmosphärische Deposition, Düngung, Pflanzenreste) berücksichtigen, wodurch eine Optimierung der Menge der eingebrachten Nährstoffe auf Grundlage der Umgebungsbedingungen (Bodentyp, Bedürfnisse der Pflanzen und Restnährstoffe) möglich wäre.

Maßnahme: Angepasste Ausbringung von flüssigem Wirtschaftsdünger

Damit flüssiger Wirtschaftsdünger schneller in den Boden gelangt, wird auf Ackerstandorten der Dünger in den Boden eingearbeitet, was spätestens vier Stunden nach Beginn des Aufbringens geschehen sollte. Weitere Möglichkeiten des bodennahen Auftrags von Wirtschaftsdünger, um Emissionen in Luft und Oberflächenabfluss zu reduzieren, sind Schleppschlauch- und Schleppschuhapplikatoren. Eine anschließende Einarbeitung ist bei diesen Techniken zielführend, was allerdings lediglich auf unbestellten Ackerstandorten umgesetzt werden kann. Per Injektionsverfahren oder Schlitzverfahren wird der Flüssigdünger direkt in den Boden appliziert. Die technische Umsetzung variiert nach Bodenart und Pflanzenentwicklungsstand.

Maßnahme: Anpassung der Sperrfristen und Düngung nach Nährstoffbedarf

Der Entwurf zur Düngeverordnung von Juni 2015 sieht eine Verschärfung der Sperrfrist für organische Düngemittel mit wesentlichen Gehalten an Stickstoff auf Ackerflächen vor. Nach der Ernte der Hauptkultur soll demnach eine Düngung nur noch für Kulturen mit Stickstoffbedarf erlaubt sein. Auch für Festmist ist eine Sperrfrist geplant.

Maßnahme: Einführung bundeseinheitlicher Vorgaben für das Fassungsvermögen von Anlagen zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern

Der Entwurf zur Düngeverordnung von Juni 2015 sieht eine Mindestlagerkapazität von sechs Monaten vor. Durch die geplante Verlängerung der Sperrfristen, wird mehr Wirtschaftsdünger gelagert werden müssen als bisher. Daher werden Betriebe mit geringen oder ohne eigene Flächen zur Ausbringung ab dem Jahr 2020 Lagerkapazitäten für flüssigen Dung von neun, sowie von vier Monaten für festen Wirtschaftsdünger nachweisen müssen.

Maßnahme: Präzisierung der Beschränkungen für das Aufbringen von Düngemitteln

Im Entwurf der Novelle der Düngeverordnung von Juni 2015 werden auch die Vorgaben präzisiert, die für die Aufbringung von nitrat- und phosphathaltigen Düngemitteln auf überschwemmten, wassergesättigten, gefrorenen oder schneebedeckten Böden bereits bestehen. Auf gefrorenen Böden gilt eine beschränkte Aufbringung von 60 kg Stickstoff dann, wenn nachts oberflächlich gefrorene Böden, tagsüber aufnahmefähig sind und der Boden pflanzenbedeckt ist. Dabei muss nachgewiesen werden, dass das Aufbringen zu einem späteren Zeitpunkt Bodenverdichtungen nach sich ziehen würde.

Maßnahme: Bodenverdichtung vermeiden

Um Bodenverdichtung zu verringern, können Veränderungen an Maschinerie und Bodenmanagement getroffen werden. Generell sollte die Bodenbearbeitung an die Standortbedingungen angepasst erfolgen und hier vor allem an die Faktoren Wassergehalt des Bodens und Bodenart. Ist bereits eine Verdichtung der oberen Bodenschichten z.B. in Fahrspuren aufgetreten, kann ein flaches Pflügen der verdichteten Bereiche diese beheben. Allerdings kann Befahren des Bodens nicht komplett vermieden werden und verschiedene Anpassungsoptionen können die Belastung des Bodens durch Befahren verringern (z.B. Verringerung der Häufigkeit der Befahrung, Arbeitsbreite erhöhen, Schlaggröße und Richtung der Schlagbearbeitung anpassen oder geringerer Reifendruck). Zur Vermeidung von Unterbodenverdichtung muss die Last durch schwere Maschinerie und Ladung verringert werden. Um weiterhin Bodenverdichtung zu verringern, sollte die Bodenbearbeitung auf ein Mindestmaß reduziert werden (z.B. Direktsaat, pfluglose Bodenlockerung, hohe Durchwurzelung).

Maßnahme: Humusgehalt erhöhen und biologische Aktivität fördern

Durch intensive landwirtschaftliche Bodenbearbeitung verarmt der Boden an Kohlenstoff, was unter anderem zum Rückgang der Bodenfruchtbarkeit, des Wasserhaltevermögens und der biologischen Aktivität führen kann. Damit diese Bodenfunktionen erhalten bleiben, sollte ein nachhaltiges Humusmanagement betrieben werden. Dieses kann folgende Aspekte umfassen: Management von Ernterückständen, Gründüngung, Verringerung der wendenden Bodenbearbeitung oder Direktsaat, Einbindung von mehrjährigen Kulturen in die Fruchtfolge, Deckfrüchte oder Zwischenfrüchte.

Maßnahme: Erosionsschutz

Die Hauptfunktionen von Ackerböden basieren auf den Abläufen in den oberen Zentimetern, welche vor Erosion durch Wind und Wasser geschützt werden müssen. Die folgenden praktischen Maßnahmen können hierfür umgesetzt werden: Management von Ernterückständen, Fruchtfolge

mit mehrjährigen Kulturen oder Deck- und Zwischenfruchtanbau, Gewässerrandstreifen, angepasste Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Windschutz.

Handlungsfeld 7: Vorsorge durch Kommunikation

Maßnahme: Umweltaspekte in die Ausbildung integrieren

Um auf die Inhalte bereits akkreditierter Studiengänge Einfluss zu nehmen, müssen Wege gefunden werden, insbesondere die Gruppe der Lehrenden direkt anzusprechen. Ziel sollte es sein, die Modulverantwortlichen durch ihre wissenschaftlichen Gesellschaften und ihre Fachverbände zum aktuellen Wissensstand zu informieren. Absolventen der Tiermedizin und der Agrarwissenschaften dienen als Multiplikatoren im gesamten Sektor der Erzeugung Lebensmittel tierischer Herkunft sowie darüberhinausgehenden Heim- und Hobbytierhaltungen. Eine tatsächliche Verankerung in die Studienpläne ist also von hoher Priorität, um dem Ziel eines geringeren Verbrauchs umweltkritischer Tierarzneimittel näher zu kommen und verantwortungsbewusstes Handeln zu unterstützen.

Maßnahme: Erweiterung des Weiterbildungsangebots für Tierhalter und Tierärzte

Durch den kontinuierlichen Anstieg antimikrobiell resistenter Erreger wird die Behandlung bakterieller Infektionen bei Mensch und Tier zunehmend erschwert. Derzeit ist die Kompetenzvermittlung zur Lösung komplexer Probleme, wie die Resistenzentwicklung und –verbreitung, noch nicht genügend in der Ausbildung von Agrarwissenschaftlern, Human- und Veterinärmedizinern verankert. Dadurch ist das Wissen zu umweltrelevanten Wirkungen in Folge des Antibiotikaeinsatzes unzureichend, um Verhaltensänderungen zu bewirken. Die Entwicklung von einem für alle Disziplinen übergreifenden Fortbildungsangebot ist entscheidend, um aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse über Umweltproblematiken in die Praxis zu transferieren und gleichzeitig Lücken in der fachspezifischen Ausbildung zu schließen. Um alle Zielgruppen wirkungsvoll zu erreichen, sollte das erforderliche Wissen im Rahmen eines „Lebenslanges-Lernen-Konzeptes“ von der Grundausbildung bis zur ergänzenden Weiterbildung erfolgen.

Maßnahme: Informationskampagnen zu risikomindernden Praktiken für Tierärzte und Landwirte

Landwirte und Tierärzte können durch breitangelegte Informationskampagnen mit den zwei Zielen erreicht werden: (1) Sensibilisierung zum Thema durch das Vermitteln von Hintergrundinformationen, (2) Aufklärung zu den Handlungsoptionen. Hier kann auf Wissen und Erfahrung in der Kommunikation zum Thema Humanarzneimittel in der Umwelt zurückgegriffen werden. Hierbei ist es wichtig, zunächst Multiplikatoren zu schulen, wodurch die Akzeptanz des Themas erhöht und Verständnis für die Erwünschtheit der Handlungsoptionen erzeugt wird. Auf dieser Basis einer kommunikativen Vorbereitung können eingeführte Maßnahmen in langfristiges Handeln münden. Um Tierärzte zu erreichen, werden anerkannte Fachmedien, sowohl Print als auch Online, empfohlen.

Maßnahme: Wissenstransfer zu alternativer Entwurmung und Anpassung der geltenden Empfehlungen

Die frequente strategische Entwurmung mit den von den Herstellern ausgesprochenen Empfehlungen entspricht bislang nicht den aktuellen One-Health Gesichtspunkten. Unter Berücksichtigung der zunehmenden Resistenzentwicklung kann die Notwendigkeit des Einsatzes

von Präparaten durch Kotproben und Weidemanagement reduziert werden. Speziell für Pferde, Schafe und andere in Weidehaltung gehaltene Nutztiere stellt die selektive Entwurmung eine Alternative zu bisherigen Vorgehensweisen dar. Bei der selektiven Entwurmung wird der Wurmbefall erst behandelt, wenn Kotuntersuchungen bestätigen, dass die Eiausscheidung einen definierten Schwellenwert (Einheit EpG, Eier pro Gramm Kot) überschreitet.

Maßnahme: Informationskampagnen für Phytotherapeutika und Futtermittelzusatzstoffe

Es existieren eine Reihe potentieller Phytotherapeutika oder Futtermittelzusatzstoffe zur Förderung der Wundheilung, Unterstützung der Atemwegsfunktion oder mit Wirkung auf den Gastrointestinaltrakt. Demgegenüber stellen Atemwegsinfektionen oder Durchfälle die häufigsten Indikationen für den Antibiotikaeinsatz dar. Zunächst fehlen für die meisten Phytotherapeutika und Futtermittelzusatzstoffe belastbare evidenzbasierte Studien, damit ihre Wirkungen deutlich werden. Es gibt bereits einige potentiell wirksame Produkte auf dem Markt, wichtig wäre aber zusätzlich die gezielte Information von Tierhaltern und Tierärzten zu diesen Alternativen. Der großtechnische Einsatz von pflanzlichen Arzneimitteln und Futtermittelzusatzstoffen wäre vor allem aus Gründen der Umweltrelevanz und Lebensmittelsicherheit wünschenswert und würde vermutlich insbesondere den metaphylaktischen Einsatz von Antibiotika reduzieren.

Maßnahme: Informationskampagnen für die breitere Öffentlichkeit zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt

Informationskampagnen, die zur Bewusstseinsbildung in der Öffentlichkeit zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt einen Beitrag leisten, können als indirektes Mittel zu ihrer Reduzierung betrachtet werden. Ein gesteigertes Bewusstsein für die Thematik unter Verbrauchern kann sowohl durch ein verändertes Konsumverhalten Marktanreize für die Einhaltung gewisser Praktiken seitens tierproduzierender Betriebe, wie auch für die Regulierungsbehörden einen generellen Handlungsdruck erzeugen. Das Thema kann separat, aber auch im Kontext weiterreichender Zusammenhänge, die die Öffentlichkeit bewegen, kommuniziert werden.

Handlungsfeld 8: Umweltmonitoring

Maßnahme: Überwachung der Abluft von Stallstäuben auf Antibiotika-Wirkstoffe

Der Eintrag von Antibiotika über Stallstäube stellt nicht nur ein unmittelbares Risiko für den Menschen (z.B. Auslösung von Allergien, Aufnahme von antibiotikaresistenten Bakterien) dar, sondern belastet auch die Umwelt. In praxisnahen Untersuchungen konnte mit wenigen Proben aus einem Stall gezeigt werden, dass bei der Verwendung von Pellets anstelle von Pulver die Sulfadiazingehalte in der Stallumgebung deutlich geringer ausfallen. Dieses Ergebnis sollte durch eine umfängliche Untersuchung validiert werden.

Maßnahme: Monitoring (Screening) von organischen Wirtschaftsdüngern auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe

Daten zu Tierarzneimittel-Rückständen in organischen Wirtschaftsdüngern sind in Deutschland bisher nur lückenhaft vorhanden. Aufgrund der in den letzten Jahren stark fortentwickelten Analysemethoden sollten die stichprobenhaften Analysen ergänzt werden. Ziel ist es, Wirtschaftsdünger von allen relevanten Tierarten und aus geografisch unterschiedlichen Regionen Deutschlands in ausreichend großer, repräsentativer Anzahl (Ziel: mehrere Hundert Proben) und

über mehrere Jahre saisonal variabel zu beproben, um mit den Daten statistisch abgesicherte Auswertungen vornehmen zu können.

Maßnahme: Screening von Böden und Sickerwasser auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe

Der Eintrag von antibiotisch wirksamen Substanzen in niedrigen Konzentrationen in Böden kann neben der direkten Wirkung auf Bodenorganismen auch zur Induktion bzw. Verbreitung von Antibiotikaresistenzen führen. Zum Boden und Sickerwasser sind bisher nur wenig belastbare Daten zu analysierten Wirkstoffkonzentrationen von Antibiotika in Deutschland vorhanden. Diese müssen aktualisiert und ausgeweitet werden, um mit den Erkenntnissen belastbare Aussagen zum Verbleib der Wirkstoffe in der Natur treffen zu können. Aus diesem Grund wird auch hier zunächst eine Untersuchung mit Screening-Charakter in typischen Bodenregionen bzw. -landschaften Deutschlands vorgeschlagen. Erweitert werden sollte das Monitoring von Böden durch die Untersuchung der wässrigen Phase innerhalb der ungesättigten Zone unterhalb der Bodenzone.

Maßnahme: Sektorenübergreifendes Monitoring der Einträge von Antibiotika aus der Tierhaltung in die Umwelt

Diese vorgeschlagene Maßnahme umfasst integral alle betroffenen Umweltkompartimente bis zum Grundwasser, und zwar: i. Wirtschaftsdünger (Gülle und/oder Gärrest), ii. Boden, iii. oberirdische Gewässer, iv. Sickerwasser und v. (oberflächennahes) Grundwasser. Die Maßnahme soll modellhaft an einem oder wenigen Standorten in naturräumlich unterschiedlich ausgestatteten Regionen (z.B. Locker- und Festgesteinsbereich) die Wechselwirkungen zwischen den Umweltmedien aufzeigen. Diese Maßnahme sollte idealerweise nachfolgend in ein von den Ländern betriebenes Dauer-Monitoring übergehen und muss daher projektbegleitend mit den zuständigen Institutionen in den Ländern abgestimmt werden.

Maßnahme: Layout eines Grundwasser-Monitorings für das Einzugsgebiet eines Wasserwerks

Diese Maßnahme richtet sich an Wasserversorgungsunternehmen der öffentlichen Trinkwasserversorgung mit Förderung des Rohwassers aus dem Grundwasser eines landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebietes der Förderanlagen in einem Gebiet mit deutlich überdurchschnittlicher Viehbesatzdichte. In diesen Bereichen Deutschlands (Niedersachsen, Bayern und NRW) wurden bisher zwar nur im oberflächennahen Grundwasser Rückstände von Antibiotika-Wirkstoffen im Grundwasser festgestellt, diese jedoch auch in den Trinkwasserschutzonen. Vermutet werden kann, dass die Konzentrationen im tieferen Grundwasser deutlich geringer sind bzw. die Stoffe mikrobiell komplett abgebaut sind. Diese These gilt es für das Versorgungsunternehmen mit lokalen Daten seines Einzugsgebietes zu erhärten und damit auch dem Anspruch der Bevölkerung nach Lieferung eines wirkstofffreien Trinkwassers gerecht zu werden.

Maßnahme: Überwachung der Emissionen einer großen Anlage zur Tierhaltung

In Deutschland werden aktuell in verschiedenen Standorten und Bundesländern große Anlagen zur Tierhaltung (z.B. zur Schweinemast) geplant und beantragt. Bei großen Anlagen ist hierfür eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Die Pflichten sind jedoch in Bezug auf die Auswirkungen auf die Umwelt sehr allgemein gehalten. Vorgeschlagen wird daher, die Überwachung sämtlicher Emissionen von Anlagen oberhalb eines festzusetzenden Bestandes pro Tierart (z.B. ab 10.000 Tierplätzen bei Schweinen) auf die Umwelt insgesamt verbindlich festzuschreiben.

Ausblick

Zu vielen Aspekten der Maßnahmen zur Minderung des Tierarzneimiteleintrages in die Umwelt bestehen noch zahlreiche Forschungsdefizite. Dies gilt im Bereich der Tierhaltung im Hinblick auf Maßnahmen zur Minimierung der Verwendung von Tierarzneimitteln, zu Fragen des Verhaltens der Tierarzneimittel während der Wirtschaftsdüngerlagerung bzw. -behandlung sowie zu deren Verbleib im Boden, die Verlagerung in weitere Umweltmedien und die Aufnahme durch Pflanzen.

Nach heutigem Kenntnisstand bieten die Maßnahmen, die auf eine Verringerung des Wirkstoffeinsatzes in der Tierhaltung abzielen, das größte Potential zur kurz- und langfristigen Reduzierung der Tierarzneimittlexposition der Umwelt. Dazu gehören in einem umfassenden Sinne Maßnahmen des risikoorientierten präventiven Gesundheitsmanagements und der überbetrieblich koordinierten Teamberatung von Betrieben in den Bereichen Verbesserung von Haltung, Fütterung und Hygiene. Diese Maßnahmen haben auch den zusätzlichen Vorteil, die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen zu mindern. Die Recherchen und Rückmeldungen aus einem Workshop zeigten, dass Kommunikationskampagnen langfristigen Maßnahmen vorangehen sollten, um die wichtigen Interessengruppen Landwirte und Veterinärmediziner zu informieren und für die Problematik zu sensibilisieren. Das Monitoringmaßnahmen durchgeführter Maßnahmen ist wichtig für das Verständnis von Emissionen und Verteilung von Tierarzneimitteln in den betroffenen Umweltkompartimenten, wie auch für die langfristig ausgelegte Überwachung der Wirkungen in den betroffenen Umweltkompartimenten.

Maßnahmen zur Düngeraufbereitung, zur Expositionsminderung und der landwirtschaftlichen Praxis weisen nach Einschätzung des Forschungskonsortiums etwas geringere, wenn auch immer noch bedeutende Potenziale zur Reduzierung der Tierarzneimittlexposition in der Umwelt auf.

Die Nutzung von Synergien stellt mittel- und langfristig ein großes Potenzial zur Reduzierung der Tierarzneimittlexposition der Umwelt dar. Sie zielen auf eine abgestimmte Strategie des Tiergesundheits- und Wirtschaftsdüngermanagements mit möglichst geringer Gefährdung der angrenzenden Ökosysteme. Die Umsetzung von Maßnahmen der tierspezifischen Handlungsfelder, die für diese Broschüre betrachtet wurden, würde stark von Maßnahmen zur „Vorsorge durch Kommunikation“ profitieren. Durch letztere wird das Bewusstsein geschaffen und dadurch die Akzeptanz erhöht, die zur Aufnahme von Maßnahmen in die Praxis der Tierhaltung führen kann. Maßnahmen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung und -anwendung haben weiterhin starke Synergien untereinander. So kann die Minderung der Tierarzneimittelkonzentration im Wirtschaftsdünger durch technische Aufbereitung positive Auswirkungen auf die weitere Wirkungskette und somit eine weitere Minderung von Tierarzneimitteln in der Umwelt haben.

Summary

Introduction

Veterinary pharmaceuticals and their transformation products have gained increasing attention as environmental contaminants in both the scientific and public spheres.

The administration of pharmaceuticals to either animals or humans results in only a partial absorption of the substance by the body – the rest is excreted. High levels of antibiotics have been found in farm manure, especially in poultry and pig farming. Veterinary pharmaceuticals find their way into agricultural fields by way of fertilisation with contaminated farm manure or directly through animal excretions in free-range fields. Veterinary pharmaceuticals that have been released into the environment can have negative ecotoxicological effects on dung organisms as well as soil and water organisms.

Recent studies document veterinary pharmaceutical residues in organic fertilisers (manure, slurry and fermentation residues) and their transfer into soils and groundwater. The effects of these residues on environmental compartments have not yet been thoroughly researched. These problems are complex and driven by various factors, such as the strong industrialisation of agriculture and high consumer demand for low-cost meat and animal products. At the federal level (*inter alia* in the 16th Amendment to the German Medicinal Products Act) and the state level as well as in research, various approaches have been developed for a more careful use of veterinary pharmaceuticals and for limiting the amounts applied in livestock farming. However, the reduction of veterinary pharmaceuticals' entry into the environment and reducing the pollution of environmental compartments are rarely in the foreground of these initiatives.

Against this background, the project aimed to compile existing approaches and measures for reducing the entry of veterinary pharmaceuticals into the environment, as well as to derive additional environmental measures from scientific literature. This summary briefly presents the compiled measures. The report presents more detailed information, including some background information on the action areas and information on modes of action of the measures.

Action area 1: Existing strategies to minimise inputs of veterinary medicines and their assessment

Measure: Appointing members of decision-making bodies in accordance with the One-Health Principle

The One-Health Principle involves inter- and transdisciplinary cooperation not only with respect to human and animal health, but also embeds these concepts into the overall system of environment, nutrition and trade. Looking at the overall system guarantees that multiple aspects are weighed against each other in the decision making process – only interdisciplinary decision-making bodies can guarantee holistic decisions. Information provided to members of relevant decision-making fora should make the idea of the One-Health Principle transparent and evaluable.

Measure: Reevaluation of environmentally critical substances and promotion of environmentally friendly substances

The current pharmacovigilance system is primarily limited to uncovering unwanted side effects of drugs in humans and animals. Within the framework of continuous monitoring of authorised veterinary medicines, the pharmacovigilance system should also take into consideration new scientific findings with regard to a compound's relevance for the environment, as well as species-specific dosages and pharmaceutical form. This is the only way to comply with the statutory benefit-risk evaluation for the safe use of veterinary medicines. In addition, the existing reporting system for veterinarians should be opened to scientists working in this field and its scope expanded.

Measure: Expanding the evaluation criteria of orally administered medications with respect to environmental risks

Two new differentiation criteria have developed as a result of in-feed medication being displaced from the market and the simultaneous move towards orally administered medications: veterinary medicines dissolved in water or added to dry feed. Given this development, it seems necessary to distinguish between the two groups of medication with respect to their pharmaceutical form, and to expand approval criteria to include water solubility and dust development when mixing the latter type into dry food.

Action area 2: Estimating the amounts of veterinary medicines dispensed and used, identifying substitution potential

Measure: Expanding the German antibiotics database to a veterinary medicines database

There are almost no statistics on the volumes of antiparasitics, pain killers, or hormones used in German animal production. Systematically recording and evaluating such data would improve the ability to assess the concrete situation and evaluate risk levels. Use data for prescription substances should also be documented in connection to target species and indications. In expanding the data collection of veterinary medicines in general, policymakers should by all means draw upon existing private- and public-sector databases related to reporting obligations (German farm diaries, German veterinary medicine administration records) and not create additional data collection structures.

Measure: Harmonisation of therapeutic indices

The current method of calculating the therapeutic index has the negative impact of shortening therapy time and underestimating the weight of the animal, thus lowering the dose prescribed on the basis of body weight. This conflicts with the goal of avoiding antibiotic resistance, as insufficient dosage or shortening of therapy promote the establishment of resistant strains and reduce the chance of treatment success. Moreover, higher-dose antibiotics are given more weight than more critical substances employed in lower doses. This in turn leads to a preference for antimicrobial substances with special significance (analogous to antibiotics of last resort), one-shot antibiotics, and to the avoidance of combination products.

Measure: Creation of a panel of experts in the field of veterinary medicine to designate antimicrobial substances with special significance (analogously to antibiotics of last resort)

In human medicine, the World Health Organisation has determined a list of substances of special significance (WHO List of Critically Important Antimicrobials for Human Medicine) whose use is linked to the loss of effectiveness of other medical substances. In the course of the literature review and interviews conducted for this research, farmers and veterinarians very often invoked the lack of such definitions in veterinary medicine. A clear definition of such substances in the area of veterinary medicine should narrow the room for interpretation, and clear guidance should be established for prioritising antibiotics that are *not* critical for treating resistant germs.

Measure: Requiring proof of expertise for use of pain killers

Due to animal welfare considerations, surgical interventions on an animal (castration, horn removal) without use of painkillers should be forbidden; however, no practical alternative has been developed to date. Due to this, producers of veterinary pharmaceuticals and regulatory agencies were requested under the 2008 “Duesseldorf Declaration” to establish conditions for routine pain-killer use on the part of livestock owners. Requiring livestock owners to submit proof of competency for proper administration of painkillers would maintain existing routine agricultural sector activities and workflow, while still ensuring that surgical interventions are – in the spirit of animal and environmental protection – only undertaken in a professional and pain-minimising fashion, and when no other form of animal husbandry is economically viable.

Action area 3: Prevention measures to improve animal health**Measure: Reducing the presence of microbes in general**

Livestock holders regularly engage in prophylactic cleaning and disinfection to reduce the chances of infection and to prevent the carry-over of pathogens among stalls within a farm as well as between farms. By thus reducing infection risk and containing disease spread, these measures enable an overall reduction in antibacterial medication, thereby also reducing inputs of environmentally relevant substances and resistant microorganisms from manure into soil and water. Key here is to employ cleaning and disinfection materials only to the extent needed. This helps prevent unnecessary environmental exposure of these substances, which are often in themselves biologically reactive.

Measure: Risk-oriented livestock health management

Regular and structured veterinary monitoring and advisory systems help in the early detection of potential infection risks, allow for differentiated diagnoses when it comes to illnesses with unspecific symptoms, and help determine overall livestock health. Early identification of health risks in livestock operations allows for early preventive action, which in turn can stop a disease outbreak. In the spirit of a One-Health approach, existing animal health monitoring procedures should incorporate an animal-human-environment/air-water monitoring approach geared towards the stable habitat so as to better recognise the risks of spreading resistant microorganisms. Useful indicators for specific hotspots at individual operations are the presence of extended-spectrum beta-lactamases (ESBL) and Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA).

Measure: Monitoring procedures throughout production

These measures involve coordination services for farmers and veterinarians responsible for a particular livestock population in order to prevent animal infection, facilitate early recognition of existing illnesses, and (if necessary) take actions to protect as yet uninfected animals. This coordination should keep infection rates down and thereby reduce the extent to which veterinary medicines need to be employed. Livestock operations with such structured and systematic health management have been shown to have significantly lower antibiotics use. In some EU Member States, such as Denmark or the Netherlands, coordination of health management measures across different livestock operations for export of animals and animal products has for years been a task addressed by Public-Private-Partnerships (PPPs).

Measure: Species-appropriate livestock holding conditions

Numerous studies confirm the positive health effects of appropriate living conditions for livestock. Improved conditions reduce the number of stressors for animals and strengthen their resistance to infection. This in turn results in less diseases requiring treatment and therefore reduced use of veterinary medicines in general. Access to outdoor areas in extensive animal husbandry operations offers many advantages for the animals, but also additional risks for animal health. The latter can be reduced through structural adjustments to enclosures. Enclosure designs that reduce exposure to germs on the one hand, and on the other feature improved flooring that in turn improves hoof health and reduces risk of injury, can cut disease rates significantly. This results in lowered use of environmentally relevant animal medicines.

Measure: Strengthening the immune system

For numerous diseases, a prophylactic vaccination of non-infected animals or entire herds is one of the most effective protection measures. The German 'Veterinary Medicine Standing Committee on Vaccination' has developed species-specific recommendations in this regard. Vaccination is the best form of protection against many diseases. For young animals, receiving enough colostrum is an additional deciding factor for developing strong immune systems. Measures that strengthen the immune system can reduce veterinary medicine use because they reduce the rate at which animals contract diseases in the first place.

Measure: Needs-based feeding

Phytogenic feed additives are being discussed as alternatives for the stabilisation of intestinal bacteria during feed changes required for production. These additives are exclusively plant-based, often including herbs and spices. Over 200 entries on herbal extracts and ethereal oils can be found in the German ordinance on additives used in animal feed. These are said to have performance enhancing effects; additionally, some have antimicrobial, antifungal, or antioxidant properties. Adding biochar to feed has been shown to bind toxins in the digestive tracts of animals in both beef and poultry operations.

Action area 4: Effect of processing organic fertilisers on bioavailability and breakdown of veterinary medicines

Measure: Passive storage of organic fertilisers

Passive storage of manure involves gathering the organic fertiliser in question and storing it (with or without cover) until it is applied to the agricultural field. The concentrations of many veterinary medicines present in manure decrease during storage – the average half lives differ strongly between different active substances and are influenced by the temperature of the substrate. Storage has both positive and negative environmental effects that in some instances involve other environmental compartments. Longer storage makes for lower bacteria count – a positive effect. However, every kind of storage is accompanied by greenhouse gas emissions; unless specific treatment is applied these emissions entail negative environmental impacts. Further, storage of hard manure and separated solids can involve significant nutrient losses, in particular of nitrogen and potassium.

Measure: Composting of solid manure and aeration of liquid manure

Composting is the intentional aerobic decomposition of solid (stackable) organic matter and is mainly used to break down hard manure or solids resulting from separation of substrates such as slurry or fermentation residues. Composting hastens the decomposition of many veterinary medicines and shortens their respective half life compared to simple storage. As with passive storage, composting carries positive and negative effects – the high temperature increase during composting can lead to substantial hygienisation of the animal waste (germ reduction), but also results in significant greenhouse gas emissions if the composting facility is not enclosed and equipped with waste gas treatment systems. Nutrient loss is significantly higher than in passive storage of manure.

Measure: Anaerobic fermentation of animal waste

Practically every type of animal waste is adequate for fermentation in a biogas plant – both solid and liquid types. Such facilities are generally run at temperature ranges between 37 and 45 °C (mesophilic) or between 50 and 55 °C (thermophilic). The fermentation process leads to a reduction of organic mass content, which mobilises adsorbed pharmaceutical substances and enables their breakdown during the course of fermentation. Similarly to composting, anaerobic fermentation accelerates the reduction of measurable veterinary drug content for numerous veterinary compounds (e.g. tetracycline, oxytetracycline, ciprofloxacin, tylosin, progesterone, etc.). However, with certain active substances (e.g. chlortetracycline, estrogens, monensin), anaerobic fermentation is less efficient than composting or passive storage. An option that is relevant in day-to-day practice is adding additional substrate of renewable raw materials to increase the specific energy potential of the fermentation process. The addition and fermentation of fibrous substances like corn requires longer hydraulic residence times in the biodigester and leads to dilution of pharmaceuticals in the substrate. There are as yet no studies on the potential effects of adding such fibrous raw materials.

Anaerobic fermentation of animal waste can, however, also affect other environmental compartments. The benefits of anaerobic fermentation include hygienisation of the manure material, broad retention of nutrient content (such that no change in the nutrient spectrum occurs), reduction of NO_x and CH₄ emissions during storage, displacement of fossil fuels through renewable energy when biogas is used for electricity generation, and odour reduction. In terms of

plant fertilisation, an advantage is that materials resulting from anaerobic fermentation used as fertiliser convey relatively more nitrogen in the year of application. A negative effect is the following high risk of emitting NH_3 (possibly also N_2O from stored solids) during the entire waste management process including spreading.

Complex approaches to treatment of liquid manure

Currently, several approaches are being employed or developed for handling liquid organic fertiliser (slurry, as well as liquid residue from fermentation processes in e.g. brewing, biogas plants). Partially, these can serve as pre- or post-treatment of animal-waste-based fertiliser intended for fermentation in a biodigester.

Measure: Separation of liquids and solids

Separating the liquid and solid content of slurry is done both as a pre-treatment measure ahead of additional processing (e.g. drying or fermentation), and as a post-treatment measure for fermentation residues. Organic matter as well as the nutrients phosphorous, magnesium and calcium – along with several veterinary medicines – end up primarily in the solid portion, whereas ammonia is deposited mainly in the liquid part and potassium is present in relatively equal parts in both. Solid-liquid separation improves properties of the liquid phase for application on the field or further processing such as ammonia stripping, de-phosphorisation, and membrane treatments. Separation also improves nitrogen efficiency by reducing the C/N ratio in the liquid phase, allows for more targeted application of nutrients, and enables volume reduction for nutrient transport.

Measure: Drying

Through direct drying of liquid manure or drying of the solid phase of a solid-liquid separation, marketable organic fertilisers with high nutrient concentrations and that are suitable for storage are produced. Hot- or cold-air drying techniques can be used. The former entails exposure of substances to temperatures over $80\text{ }^\circ\text{C}$, which creates an exhaust gas containing ammonia, volatile organic substances and dust. Drying takes place at temperatures over $60\text{ }^\circ\text{C}$. The ensuing negative pressure allows volatile elements and water to be collected; ammonia can also be reclaimed.

Measure: Ammonia stripping

The goal of ammonia stripping is to produce a mineral fertiliser with high concentrations of nitrogen on the one hand, and a partially nitrogen-reduced liquid fertiliser on the other. Raising temperature and pH allows processors to collect ammonium hydrogen carbonate (NH_4HCO_3), ammonium sulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), ammonium nitrate (NH_4NO_3) or ammonium phosphate ($(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$). Since the buffer capacity of liquid manure is determined to a large extent by the presence of carbonate and ammonia, this method leads to a significant reduction in the substrate's buffering capacity. Stripping reduces the danger of nitrogen emissions down the entire remaining manure management chain, including storage and application.

Measure: Phosphorus precipitation

The goal of this procedure is the creation of a phosphate fertiliser (calcium phosphate or struvite). It is accomplished by increasing the pH and adding calcium or magnesium, which creates a fermentation residue from which phosphorus has been partially removed.

Measure: Concentration via membrane treatment

Membrane procedures include nano- and ultrafiltration as well as reverse osmosis. Filtration with subsequent reverse osmosis is a technique that allows separation of fine particles and dissolved elements such as ammonium and organic compounds from the liquid phase, after a prior solid-liquid separation. It results in water that is safe to discharge into the environment as well as a thick, volume-reduced organic manure concentrate with a high nutrient density per volume. This improves the economic case for its transport into other regions, and parameters like temperature, pH and redox potential do not have to be altered.

Measure: Acidification

In order to reduce gaseous nitrogen loss and thereby increase nitrogen efficiency in fertilisation, liquid manure or separated liquids can be treated with strong acids like H_2SO_4 . This is usually done during field application by adding acid to the head or nozzle of the spreader/sprayer. The lower pH dissolves phosphorus and other elements and can thus be taken up by plants directly.

Measure: Dilution with water

Adding water to the organic fertiliser hastens infiltration of the nutrient material into the soil and reduces ammonium concentrations – both reduce the risk of NH_3 emissions. However, this measure involves significant additional logistical efforts in the spreading procedure.

Measure: Aeration of liquid manure

Aeration of liquid manure involves actively blowing air into the manure to provoke an aerobic stabilization of material and to prevent anaerobic rotting and decomposition, thereby improving plant tolerance to the manure.

Measure: Pasteurisation

This measure serves to hygienise potentially contaminated substrates. The substrate is exposed to temperatures above 70 °C for over an hour. It is unclear how pasteurisation affects the activity of veterinary pharmaceuticals, however it is possible that relatively high temperatures deactivate some of them, similarly to the drying techniques described above. Moreover, heat treatment leads to higher degradability of the substrate and thereby decreases its sorption capacity.

Action area 5: Measures to reduce exposure

Measure: Risk mitigation measures in the environmental risk assessment for veterinary medicines

The German Environment Agency (Umweltbundesamt) conducts an environmental risk assessment as part of the approval process for veterinary medicines. If certain benchmark values are still exceeded after predicted concentrations in the environment have been refined, risk mitigation measures are in order. To count as official risk mitigation measures for regulatory approval, measures must fulfil certain criteria such as effectiveness, verifiability, and accordance with agricultural practice. For the measures to show impact, they must be actually implemented by those addressed by the risk mitigation measure. Measures are explained in summary of product

characteristics (SmPC) and package leaflets, with the goal of causing a behaviour change that goes beyond good agricultural practice.

There are as yet no studies evaluating the success of these measures in practical implementation. Experts strongly doubt that risk mitigation measures are actually being carried out in practice. This is especially true for those prescribing how to fertilise with pharmaceutical-laden liquid manure – the gap between theory and practice seems to be particularly large in that area, as liquid manure is typically sold and distributed locally to other farmers, and in this chain the information on required risk mitigation measures is probably lost.

Measure: Margins or buffer zones in and along fields and bodies of water

Leaving fallow strips of land in an agricultural area or along its edges - or planting strips with grass and wildflowers - can protect against water erosion, help break down agrochemicals, and help sustain regional biodiversity. To mitigate water erosion, hydrologically relevant factors like spatial arrangement and width of the buffer strip are important – as well as what type of cover plants are used, given that these influence microbiological activity in the soil. Buffer strips along bodies of water (also called riparian buffer strips) differ from those along fields primarily in their placement directly next to and along surface water. They are generally wider than the field strips and contain not only grasses but also bushes and trees.

Measure: Adjusting timing of manure application (according to weather and season)

Adjusting the timing of organic fertiliser application in view of weather conditions could significantly reduce the transport of veterinary pharmaceuticals from fields to surface water via runoff and drainage. Effectiveness of this measure has yet to be evaluated. One study that exemplifies the influence of weather conditions compared the application of liquid manure to the same field at different times – the veterinary drug content of the applied manure was the same both times – and showed that under wetter conditions, the peak concentrations of the veterinary medicine in question was 22 times higher in the surface runoff. The overall transport of the compound from the agricultural area was 15 times higher. Lengthy experience with weather-related adjustments to application timing already exists in the area of plant protection products application.

Seasonally adjusted timing of manure spreading is also an option – and is already to a certain extent reflected in the requirements of the German Fertiliser Application Ordinance. The most favourable manure application times (in terms of reducing veterinary medicines transport in surface runoff and into groundwater) are those during which field conditions slow runoff, those in which heightened plant and microbiological activity contribute to breakdown of pharmaceuticals, and those where a high biomass density in buffer strips leads to better (slower) drainage conditions.

Measure: Artificial wetlands to reduce veterinary drug content in surface runoff from livestock operations

Artificial or engineered wetlands (also called botanical sewage treatment facilities) have long been used to break down nutrients present in surface runoff of agricultural operations. They also have potential in breaking down pesticide residues, and initial research has shown a reduction effect for surface runoff from livestock operations – with respect to both pathogens as well as veterinary pharmaceuticals. Artificial wetlands have different microcosms in which various decomposition processes take place.

Measure: Promoting runoff-retarding structures and avoiding runoff-promoting structures

Slower surface runoff from an agricultural field reduces removal and transport of veterinary pharmaceuticals thanks to several simultaneous processes: (1) Increased soil infiltration and thus increased interaction between dissolved veterinary pharmaceuticals and soil; (2) Increased deposition of suspended soil particles and pollutants bound to them; (3) Increased residence time of surface runoff on the field's surface, which increases the probability of adsorption and breakdown of veterinary pharmaceuticals. An example of a runoff-retarding structure is vegetated ditches along field edges. In comparison to conventional ditches, vegetation slows down the runoff in the ditch, thus encouraging infiltration and the above-listed processes. On the other hand, runoff-promoting structures (e.g. tramlines on fields) encourage the transport of dissolved and particle-bound pollutants. Their avoidance or adjustment can reduce the input of veterinary pharmaceuticals into surface runoff, or stretch it out over time and thus promote their adsorption and breakdown on fields and in the soil.

Measure: Surface management on livestock farms

Research shows highly variable concentrations of veterinary pharmaceuticals in the soils of a single farm, depending on the productive function of the surface. An example is areas that serve as feeding stations, which showed significantly higher concentrations of veterinary pharmaceuticals than other areas of farms under study. Adapted surface management that takes into account this context as well as the hydrology of the farm premises can decrease the removal and transport of veterinary pharmaceuticals in surface runoff and help support their breakdown. For example, surfaces can be designated in such a way that the areas expected to have higher concentrations of veterinary pharmaceuticals in their soils (in cow farms, e.g. areas where cows gather such as feeding stations) be located in hydrologically more advantageous areas.

Measure: Avoiding the production of unsaleable milk containing residues of veterinary pharmaceuticals

Unsaleable milk is milk that is not fit for the market. It includes colostrum (the first milk after the animal gives birth) as well as milk that cannot be consumed because of possible pharmaceutical residues, due to its being milked during treatment or during the withdrawal period. According to estimates, this is about 1-4 % of the total milk produced. During disposal of this milk, already collected pharmaceutical residues in the milk re-enter the environment. This should be avoided.

Measure: Appropriate disposal of leftover and old medicines

There is virtually no information on the significance of improper disposal of leftover medicines (mostly disposed of in liquid manure, less frequently in the sewer) as an entry pathway for veterinary pharmaceuticals to the environment. However, this pathway can be very significant for pesticides and human pharmaceuticals. For veterinary pharmaceuticals the question of proper disposal often depends on the given substance, as some are administered by veterinarians while others are administered by farmers. Return systems could be established modeled on those set up for human pharmaceuticals, which have led to good results in several EU countries.

Action area 6: Agricultural practices

Measure: Strengthening the needs-based approach to fertilisation

The proposals for reforming the German Fertiliser Ordinance stipulate that farmers undertake an obligatory fertiliser needs assessment before fertiliser application. With the application of organic and organic-mineral fertilisers according to a calculated nutrient balance, the entry of veterinary pharmaceuticals into the environment can be minimised, as the overall quantity of organic and organic-mineral fertiliser applied is reduced in this approach. More efficient nutrient management plans can be developed with help of specific instruments (e.g. soil analysis) to take all relevant inputs and outputs (e.g. atmospheric deposition, fertilisation, plant remnants) into account. This way the quantity of nutrients introduced can be optimised on the basis of site conditions such as soil type, plant needs and measured soil nutrient levels.

Measure: Adapted application of liquid farm manure

In order for liquid farm manure to enter soils more quickly, it is incorporated into the soil (e.g. using chain or disk harrows) in arable areas, which according to the German Fertiliser Ordinance should happen at the latest four hours after the beginning of application. Further possibilities for applying manure close to the soil, so as to reduce nutrient emissions into air and in surface runoff, include drag hose and drag shoe applicators. With such technologies, a subsequent incorporation of manure into soil is desirable, although this can only be done on uncultivated land. Liquid manure can be applied directly into the soil by injection or channel application. Technical implementation will vary depending on soil type and state of plant development.

Measure: Adaptation of restriction periods and fertilising based on plant nutrient needs

The June 2015 draft version of the new German Fertiliser Ordinance stipulates an increase in the restriction period for applying organic fertilisers with significant nitrogen content on arable land. After harvest of the main crop, fertiliser application shall only be allowed for crops with significant nitrogen requirements. A restriction period for solid manure is also planned.

Measure: Introduction of national guidelines for manure storage capacities

The June 2015 draft version for the new German Fertiliser Ordinance stipulates a minimum storage capacity for manure of six months. The planned increase in the restriction period will require more manure to be stored than before. For this reason, farms with few or no own fields for manure application will be required to demonstrate storage capacities of nine months for liquid manure and of four months for solid manure (from 2020 onwards).

Measure: Specification of limitations on the use of fertilisers

In the June 2015 draft of the new German Fertiliser Ordinance, existing guidelines for the use of nitrate- and phosphorus-containing fertilisers on flooded, waterlogged, frozen or snow-covered soils are further specified. For frozen soils, the ordinance foresees a maximum application of 60 kg of nitrogen if the soil surface freezes over night but remains absorptive during daytime and if it is covered by vegetation. For this permission to apply, it must be demonstrated that fertiliser use at a later point in time would lead to soil compaction.

Measure: Avoiding soil compaction

In order to reduce soil compaction, changes can be made in machinery use and soil management. Generally, soil cultivation should be adapted to site conditions and especially to soil water content and soil type. If soil compaction in the top soil layers has already occurred, e.g. in driving lanes ('tram lines'), a shallow ploughing of the compacted areas can help. While the use of machines on soil cannot be completely avoided, different adaptation options can help reduce the impact, e.g. reducing frequency of machine use, increasing the width of the machine's work surface, adapting area size and direction of machine use, and reducing tyre pressure. In order to avoid subsoil compaction, the weight of the heavy machinery and its load should be minimised. In order to reduce soil compaction of deeper soil layers, tillage should be kept to a minimum, through e.g. direct sowing, plowless loosening of the soil and high root penetration.

Measure: Increasing soil humus content and supporting soil biological activity

Intensive agricultural tillage reduces the carbon content of soils, which, among other effects, can lead to a decline in soil fertility, water retention capacity and biological activity. In order for these soil functions to be maintained, sustainable humus management should be implemented. This can include the following aspects: managing crop remnants, green manuring, reducing tilling or using direct sowing, integrating perennial cultures in the crop rotation, and using cover crops and catch crops.

Measure: Protecting against erosion

The main functions of farmland are based on the processes occurring in the first few centimetres of the soil, which must be protected from wind and water erosion. The following are practical measures that can be implemented toward this end: properly managing harvest remnants, rotating crops with perennials or cover and catch crops, establishing riparian strips, adapting tillage, and wind protection.

Action area 7: Prevention through communication**Measure: Integrating environmental concepts into education**

In order to influence the content of accredited university degrees, ways must be found to directly reach out to instructors. The goal should be to inform curriculum planners about the state of knowledge on the topic by way of the scientific societies and professional associations they are members of. Veterinary and agricultural graduates can serve as multipliers in the entire livestock production sector, as well as for pet and hobby animal husbandry. Truly embedding this material in degree curricula is of high-priority for achieving the goal of reducing use of environmentally problematic veterinary pharmaceuticals and encouraging their responsible use.

Measure: Expanding continuing education options for livestock owners and veterinarians

With the steady rise of antimicrobial-resistant pathogens, treating infections in both humans and animals is becoming increasingly difficult. Training in addressing complex problems such as resistance development and spread is not yet sufficiently embedded in the education of agronomists or human and veterinary doctors. For this reason, these groups' knowledge about adverse environmental effects from the use of antibiotics is as yet insufficient to induce

behavioural change. The development of an advanced training option addressing all three disciplines would be crucial in transferring current scientific knowledge on environmental issues to practice, and would simultaneously close gaps in discipline-specific education. In order to effectively reach all target audiences, the necessary knowledge should be conveyed as part of a 'life-long learning' approach that extends from basic training to supplementary advanced training.

Measure: Information campaigns on risk-mitigating practices for veterinarians and farmers

Wide-ranging information campaigns can be used to reach farmers and veterinarians with the twofold goal of (1) sensitising them to the topic's importance through the communication of background information, and (2) explaining possible courses of action. It may be relevant to refer to existing knowledge and experiences on communication on the topic of human pharmaceuticals in the environment. It is especially important to educate multipliers first and foremost, in order to raise acceptance of the topic and generate acceptance for the need to implement measures. It is on this basis in communication and educational priming that introduced measures can lead to long-term action. In order to reach veterinarians, the use of professional / specialist media is recommended, via both print and online.

Measure: Knowledge transfer for alternative deworming approaches and adaptation of existing recommendations

The frequent, strategic deworming practice following producer recommendations do not yet correspond to current One-Health considerations. In view of increasing resistance development, the necessity of using deworming substances can be reduced through faecal sampling and pasture management. Selective deworming particularly represents an alternative to existing approaches for horses, sheep and other pasture animals. In selective deworming, the worm infestation is only treated if faecal samples confirm that egg excretion has exceeded a certain threshold value (measured in EpG, eggs per gram of faeces).

Measure: Awareness campaigns for phytotherapeutics and feed supplements

A number of potential phytotherapeutics and feed supplements exist which promote wound healing, support airway functions or treat the gastrointestinal tract. And yet, airway infections or diarrhoea represent the most frequent causes for antibiotic use. Most phytotherapeutics and feed supplements lack reliable, evidence-based studies demonstrating their benefits. Although some potentially effective products are already on the market, information about these alternatives targeted at livestock owners and veterinarians is still missing. The large-scale use of plant-based pharmaceuticals and feed supplements would be desirable for both environmental and food safety reasons, and would likely have a particularly significant impact in reducing metaphylactic antibiotic use.

Measure: Information campaigns for the broader public on the subject of veterinary pharmaceuticals in the environment

Information campaigns that contribute to building awareness in the public on the subject of veterinary pharmaceuticals in the environment can also be seen as an indirect means to cause a reduction in their use. Greater awareness among consumers can create market incentives for supporting certain practices on livestock farms as well as create general pressure on regulatory bodies for effective action. The subject can be communicated as a stand-alone topic to the public or in the context of campaigns with a broader theme.

Action area 8: Environmental monitoring

Measure: Monitoring of air in stables for antibiotic substances in stable dust

The presence of antibiotics in stable dust not only represents an immediate risk for people (e.g. triggering allergies, uptake of antibiotic-resistant bacteria) but also contaminates the environment. Studies with low sample numbers have shown that replacing sulfadiazine powder with pellets led to significantly lower quantities of the antibiotic in stable surroundings. This result should be validated in a more comprehensive study.

Measure: Screening organic manure for veterinary pharmaceutical substances

In Germany, information about veterinary pharmaceutical residues in organic manure is until now limited or incomplete. The rapid advances in analytical methods over the last years justify supplementing current random sample analyses. The goal should be to sample manure from all relevant livestock species and from all geographic regions of Germany in sufficiently large and representative quantities (target: several hundred samples), over many years and different seasons, in order to carry out a statistically robust evaluation.

Measure: Screening soils and soil water for veterinary pharmaceutical compounds

The entry of antibiotic substances in low concentrations into soils can lead not only to direct impacts on soil organisms, but also to the induction and spread of antibiotic resistance. To date there have been few reliable studies in Germany analyzing antibiotic substance concentrations in soils and soil water. These should be brought up to date and expanded so that reliable conclusions can be drawn about the fate of substance residues in nature. For this purpose, a screening analysis in various soil regions and landscapes in Germany is recommended as a first step. The monitoring of soils should be extended to include vadose water, the watery phase of the unsaturated zone underneath the soil zone.

Measure: Cross-sector monitoring of antibiotic entry from livestock farming into the environment

The recommended measure should cover integrally all affected environmental compartments up to groundwater; namely, (1) manure (slurry and/or fermentation residues), (2) soil, (3) surface water, (4) leachate, and (5) (near-surface) groundwater. The measures should demonstrate the interactions between environmental media in one or more areas each in different regions with high physiographical variation (e.g. unconsolidated rock areas, solid rock areas). Ideally, the measures should feed into long-term monitoring by the federal states and should therefore be concerted with the responsible state institutions in parallel to the implementation of the project.

Measure: Establishing a groundwater monitoring network for a waterworks' catchment area

This measure addresses water supply companies providing drinking water using groundwater from catchment areas that are agricultural and have significantly higher-than-average livestock density. In such areas of Germany (Lower Saxony, Bavaria and North Rhine-Westphalia), although antibiotic compounds were detected only in near-surface groundwater, they were also found in groundwater in drinking water protection zones. It can be assumed that the concentrations in deeper groundwater are either significantly lower or that the compounds are completely broken down by microbiological activity. However, this hypothesis should be validated by utility

companies using local data derived from their catchment area, so that they meet the population's requirements for providing non-contaminated drinking water.

Measure: Monitoring emissions from a large livestock facility

In many different German regions and federal states, large facilities for livestock production (e.g. for pig fattening) are currently in planning or going through the application procedure. An environmental impact assessment is required for large-scale facilities. However, the obligations resulting from impacts on the environment of these facilities are formulated in very general terms. Thus it is recommended that a binding obligation be established to monitor all kinds of emissions deriving from livestock facilities with more than a certain number of livestock units (e.g. more than 10,000 pigs).

Outlook

There are still numerous gaps in research on measures for reducing the entry of veterinary pharmaceuticals into the environment. In the context of livestock farming, these apply to measures for minimising the use of veterinary pharmaceuticals, the behaviour of veterinary pharmaceuticals during manure storage and treatment, their fate in soils and other environmental media, and their uptake by plants.

According to current knowledge, measures that aim to decrease pharmaceutical use in livestock farming offer the greatest potential for reducing environmental exposure to veterinary pharmaceuticals in the short and long term. This includes risk-oriented preventative health management and coordinated farm advisory services on the topics of improved housing conditions, feed and hygiene. These measures have the additional advantage of reducing the spread of antibiotic resistance. Both research and feedback from an expert workshop indicated that communication campaigns should be implemented previously to long term measures, in order to inform farmers and veterinary practitioners and sensitise them to the topic. Monitoring measures are important for understanding emissions and fate of veterinary medicines in the different environmental media, as well as for the long-term survey of environmental impacts.

According to assessments by the research consortium, measures for manure processing, reducing environmental exposure and measures addressing agricultural practice show lower, but nevertheless significant potential for reducing the presence in the environment of veterinary pharmaceuticals.

The use of synergies has high potential in the medium to long term for reducing environmental exposure to veterinary pharmaceuticals. A coordinated strategy in animal health and manure management can take advantage of synergies to reduce the threat to surrounding ecological systems. The use of measures indicated in the animal-specific action areas explored in this brochure (Action areas 1 to 3) would greatly benefit from coordination with measures of Action area 7: "Prevention through communication". The latter would help build awareness and thus raise acceptance of proposed measures in livestock farming practice. Furthermore, measures for processing and for applying farm manure present strong synergies amongst each other. In this way, the reduction of veterinary pharmaceutical concentrations in farm manure through technical processes can have positive effects further down the use chain and eventually on the presence of veterinary pharmaceuticals in the environment.

1 Einleitung

Tierarzneimittel (TAM) und ihre Metaboliten geraten als Umweltkontaminanten zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher und öffentlicher Auseinandersetzung. Dabei werden zwei große Themenkomplexe unterschieden:

1. **Die Entstehung und Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen**, teilweise verursacht durch den Einsatz von antibiotisch wirksamen Tierarzneimitteln in der intensiven Landwirtschaft.
2. **Die Umweltbelastung durch Tierarzneimittel**, die sowohl die Qualität von Böden, Grund- und Oberflächenwasser (und somit ggf. die von Roh- und Trinkwasser) beeinträchtigen, wie auch ökotoxikologische Folgen für Boden-, Dünger-, und Wasserorganismen haben kann.

Diese Fachbroschüre für Experten und Praktiker bietet einen Überblick über Konzepte und Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Sie ist das Hauptergebnis eines Projekts, in dessen Rahmen die Forschungsergebnisse zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt mittels einer Literaturrecherche und einer Medienanalyse zusammengetragen wurden.

Zu diesem Zweck wurde ein interdisziplinäres und erfahrenes Projektteam zusammengestellt. Das Projektteam besteht aus Spezialisten aus dem Ecologic Institut in Berlin, dem FoodNetCenter der Universität Bonn, der Universität Hohenheim und der HYDOR Consult GmbH.

1.1 Hintergrund

In Deutschland wurden im Jahre 2011 circa 700 bis 800 Tonnen Antibiotika im humanmedizinischen Bereich eingesetzt, wobei 80 % im ambulanten und 20 % im Krankenhausbereich verabreicht wurden (Kresken, 2014). Im Veterinärbereich beliefen sich die Abgabemengen für Antibiotika auf 1.235 Tonnen im Jahr 2014, und auf 1.619 Tonnen im Jahr 2012. Der Einsatz von antibiotisch wirksamen Tierarzneimitteln (TAM) in der intensiven Landwirtschaft ist trotz dieses Rückgangs immer noch sehr hoch. Diese Verbrauchsmengen sind wegen möglicher Resistenzbildungen, aber auch aus Umweltperspektive kritisch zu werten. Zu den weiteren Stoffgruppen (u.a. Antiparasitika, Hormone, Schmerzmittel und Narkotika) gibt es keine vergleichbaren Zahlen.

Bei Verabreichung von Antibiotika an Tier oder Mensch wird nur ein Teil des Wirkstoffs vom Körper resorbiert, der Rest (40–90 %) wird ausgeschieden (Winckler et al., 2004; Kemper, 2008). Hohe Belastungen werden in Wirtschaftsdüngern festgestellt, v. a. in der Geflügel- und Schweinehaltung (Du und Liu, 2012). Im Rahmen eines Screenings von 181 Schweinegülleproben wurden in 24 % der Proben Rückstände gemessen. Der durchschnittliche Tetracyclinegehalt betrug $11,4 \text{ mg kg}^{-1}$ bei einer Schwankungsbreite von $0,6$ bis 66 mg kg^{-1} (Hamscher et al., 2002). Gülle, die auf die niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsflächen ausgebracht wurden, enthielten ca. 4 mg kg^{-1} Tetracyclin und $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ Chlortetracyclin (Hamscher et al., 2002). Auch Sulfonamide werden regelmäßig in Schweinegülle festgestellt, die gemessenen Werte schwanken zwischen $11,3$ – $39,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Winckler et al., 2004).

Tierarzneimittel werden über die Düngung oder unmittelbar durch Ausscheidungen der im Freiland gehaltenen Nutz-, Zucht- und Freizeittiere auf landwirtschaftlichen Nutzflächen freigesetzt. Wie im Fall anderer Chemikalien, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden, werden Tierarzneimittel, die in die Umwelt gelangen, zum Teil abgebaut, zum Teil sorbiert (z.B. an organischer Materie und anorganischer Materie der Böden und Untergrund) und in gelöster wie auch sorbierter Form abtransportiert und können damit ins Grund- und Oberflächenwasser gelangen. In die Umwelt freigesetzte Tierarzneimittel können negative ökotoxikologische Auswirkungen auf Düngerorganismen (wie z.B. Mistkäfer) wie auch auf Boden- und Wasserorganismen haben. Die

Umweltbelastung durch Tierarzneimittel und Metaboliten beeinträchtigt direkt die Bodenqualität, wie auch die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers. Gelangen Tierarzneimittel über Grund- und Oberflächenwasser in das Trinkwasser, können sie auch für die menschliche Gesundheit Relevanz haben. Über diese eher klassischen Aspekte von Umweltkontaminanten zeichnet sich eine intensiv benutzte Untergruppe der Tierarzneimittel, die Antibiotika, dadurch aus, dass ihr Einsatz mit der Entstehung und Verbreitung von Antibiotikaresistenzen zusammenhängt. Die Zunahme der Antibiotikaresistenzen wird weltweit als ein großes Risiko für die menschliche Gesundheit angesehen.

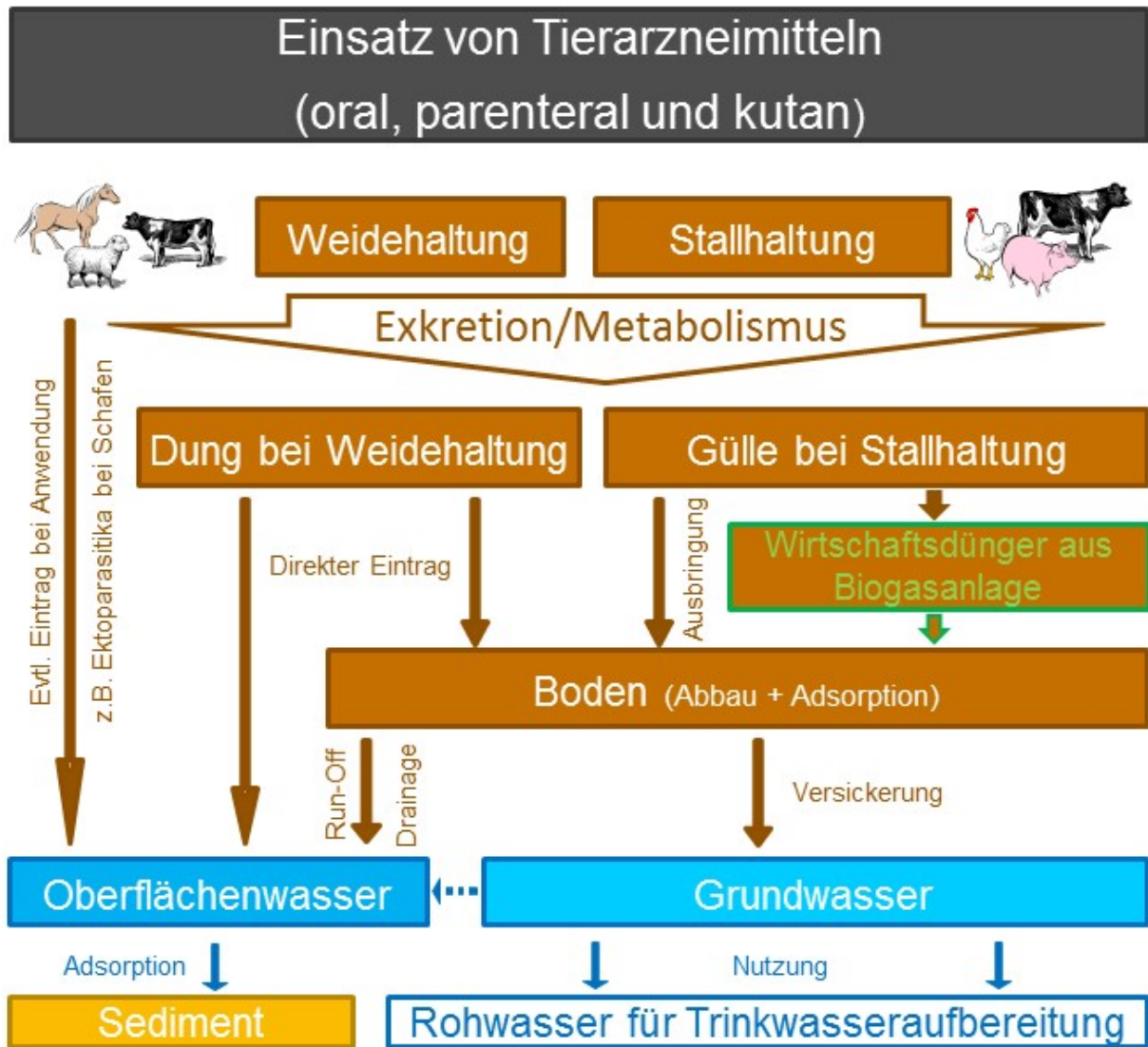
Neben vorbeugenden Maßnahmen wie einen möglichst zurückhaltenden Einsatz von Tierarzneimitteln stellt sich die Frage, inwieweit auch eine gezielte Behandlung der Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft einen Beitrag zur Reduzierung der Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt leisten kann. Derzeit stehen grundsätzlich zahlreiche Ansätze und Technologien zur Behandlung von Wirtschaftsdüngern zur Verfügung. Am bekanntesten sind Kompostierung (oxisch) oder anaerobe Vergärung (anoxisch) in Biogasanlagen. Trocknung und ggf. Verbrennung sind jedoch auch mögliche, technologisch ausgereifte Behandlungsoptionen (Christel, 2014). Daneben ist davon auszugehen, dass in naher Zukunft der technische Fortschritt weitere technologische Optionen zur Wirtschaftsdüngerzubereitung bzw. -behandlung eröffnen wird, darunter chemisch-physikalische Trennverfahren (Ultrafiltration, etc.), oder biologisch-chemische Aufschlüsse (Fermentation zur Bildung von organischen Säuren, saure oder alkalische Hydrolyse) zum Zwecke der Produktion von Plattformchemikalien und einer (teilweisen) Nährstoffabtrennung. Verschiedene Wirkstoffgruppen reagieren sehr unterschiedlich auf die jeweilige Behandlung (Arikan, 2008; Gans et al., 2010; Varel et al., 2012).

Die Auswirkungen des Einsatzes großer Mengen von Tierarzneimittel-Einzelwirkstoffen auf Umweltkompartimente sind bisher nicht umfassend untersucht. Aktuelle Ergebnisse dokumentieren jedoch sowohl in Gülle von Nutztieren und nach Gülle-Vergärung in Biogasanlagen verbleibende Gärreste (Harms 2006, LfL 2006, Ratsak et al. 2013) als auch für den Boden (Jechalke et al. 2014) und das Sickerwasser in der ungesättigten Zone (Hamscher et al. 2005) hohe Anteile nachgewiesener Konzentrationen von Tierarzneimitteln und bestätigen die o.g. Risiken der ökotoxikologischen Wirkungen. In Österreich sind Funde von Tierarzneimitteln im oberflächennahen Grundwasser bekannt (Clara et al. 2010), aktuell laufende Arbeiten dort beschäftigen sich mit der Identifizierung möglicher Ursachen dieser Funde (UBA AUT 2014).

In den Jahren 2012 und 2013 wurde im Rahmen eines Screening-Programms im Auftrag des UBA an 48 Standorten in vier Bundesländern in Nord- und Süddeutschland der mögliche Eintrag von TAM systematisch auf Grundlage einer vorab durchgeführten, weltweiten Literaturrecherche zum Nachweis der Stoffe im Grundwasser untersucht. Dabei wurden an neun der 48 Standorte (19 %) Funde in zwei Bundesländern festgestellt, die jedoch zeitlich großen Schwankungen unterworfen waren und in ihrer Mehrheit nur sehr geringe Konzentrationen von wenigen ng/l, z.T. auch unterhalb der Bestimmungsgrenze umfassten (Hannappel et al. 2014). Zeitgleiche Untersuchungen in Schleswig-Holstein (SH) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis, hier betrug der Anteil der Funde messstellenbezogen 20 % (2 von 10). Alle genannten Funde bezogen sich auf nur drei Einzelwirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonamide. Durch nachfolgende Untersuchungen (Hannappel et al. 2016) konnten die Befunde bestätigt werden, an allen elf Standorten wurden über Jahre hinweg konstante Konzentrationen von Sulfonamiden im Grundwasser gemessen werden. Beim Wirkstoff Sulfamethoxazol erwies sich an zwei Standorten der Eintrag aus Kleinkläranlagen mit häuslichem Abwasser als Quelle des Eintrags mit hohen, jedoch stark schwankenden Konzentrationen des Wirkstoffs oberhalb von 0,1 µg/l. An allen übrigen Standorten hingegen wurde der Eintrag über die Verbringung von organischem Wirtschaftsdünger (Gülle und/oder Gärreste) auf die Ackerflächen verursacht. Die Konzentrationen der beiden Wirkstoffe Sulfadimidin und Sulfadiazin lagen hier jedoch deutlich unterhalb von 0,1 µg/l. In Niedersachsen bestätigen aktuelle Untersuchungen eines

großen Wasserversorgungsunternehmen in der viehstarken Region die festgestellten Einträge in das Grundwasser, die prozentualen Anteile der untersuchten Messstellen mit Funden liegen dort sogar noch höher im Vergleich zu den Untersuchungen des UBA von 2012 und 2013.

Abbildung 1: Eintragspfade von Tierarzneimitteln in die Umweltkompartimente



Im Gegensatz zu vielen chemischen Schadstoffen, deren Konzentration durch Abbau, Verdünnung oder Sorption typischerweise verringert wird, verhalten sich Bakterien grundsätzlich anders: Sie sind fähig, in der Umwelt zu persistieren und sich dort auch zu vermehren und auszubreiten (Alexander et al., 2015). Dies bezieht sich nicht nur auf die Bakterien selbst, sondern auch auf deren Resistenzgene, die über mobile genetische Elemente (z.B. Multiresistenz-Plasmide, Transposons, Integrons) in das Genom der Wirtszelle integriert sein oder als freie DNA vorliegen können (Heuer et al., 2008; Jechalke et al., 2014; De Gelder et al., 2008; Alexander et al., 2015). Die Kombinationen von Bioziden bzw. Desinfektionsmitteln und z.B. Schwermetallen wie Kupfer und Zink unterstützen den Gentransfer und die Selektion resistenter Keime und damit eine zunehmende Belastung mit antibiotikaresistenten Erregern in unserer Umwelt (Gullberg et al. 2014; Davies et al., 2006). Derzeit gibt es keine adäquaten Risikoabschätzungsmodelle, die die Wirkung von Antibiotika und

Antibiotika-Resistenzgenen, die aus der Klinik bzw. Tierhaltung in die Umwelt gelangen, hinsichtlich des Auftretens und der Selektion von Resistenzen in Bakterien vor allem im nicht-klinischen Umweltbereich und hierdurch bedingte Infektionsrisiken abbilden.

Die dargestellten komplexen Probleme werden durch verschiedene Triebkräfte hervorgerufen oder verstärkt: Die immense Industrialisierung der Landwirtschaft, nicht zuletzt vom Verbraucher durch den Wunsch nach günstigem Fleisch und Tierprodukten unterstützt, hat die Verwendung von steigenden Mengen an Tierarzneimitteln vorangetrieben. Lange Retentionszeiten des Wassers in Grundwasserkörpern machen Maßnahmen zur Reduktion des Eintrags von Arzneimitteln erst nach langer Zeit sichtbar. Und der Wert des Bodens als Ökosystem und Grundlage unserer Nahrungsmittelproduktion wird noch nicht großflächig wahrgenommen. Da dieses hohe Maß an Komplexität schwer zu umfassen ist, ist der Handlungsbedarf für viele Akteure nicht offensichtlich. Es ist daher erforderlich, die komplexen Zusammenhänge vereinfacht darzustellen und gezielte Botschaften an die Akteure zu senden.

1.2 NutzerInnenleitfaden

Die Fachbroschüre wurde vor dem Hintergrund erstellt, mögliche Handlungsoptionen zur Reduktion von Tierarzneimitteln zu illustrieren und somit Informationen der Leserschaft nutzbar zu machen.

Die Broschüre beinhaltet Maßnahmen für acht Themenfelder, die in den Kapiteln 2 bis 9 dargestellt sind. Diese befassen sich mit **veterinärmedizinischen und tierwissenschaftlichen Optionen** (Kapitel 2 bis 4), **Möglichkeiten der Wirtschaftsdüngerherstellung** (Kapitel 5), **Maßnahmen zur Expositionsminderung** (Kapitel 6), **Maßnahmen der landwirtschaftlichen Praxis** (Kapitel 7), **Erweiterung der Kommunikation zum Thema** (Kapitel 8) sowie **Maßnahmen des Umweltmonitorings** (Kapitel 9).

In den einzelnen Kapiteln wird jeweils ein Überblick über die Problemstellung des jeweiligen Themenfeldes gegeben. Hier werden der Stand des Wissens erläutert, Annahmen, die bei der Auswahl und Beschreibung der Maßnahmen getroffen wurden, beschrieben und auf lokale Gegebenheiten eingegangen, welche das Handlungsfeld bestimmen. Die Beschreibung der Maßnahmen ist praxisnah, bezieht Aspekte der technischen Umsetzung und eine Aufwandseinschätzung ein. Die Wirkung der Maßnahme auf die Reduktion von Tierarzneimitteln-Einträgen in die Umwelt wird dargestellt sowie ihre Wirkungsgrenzen beziehungsweise die Umstände, in denen die Maßnahme getestet wurde, erläutert. Für jedes Kapitel werden ebenso die politischen Handlungsoptionen zur Umsetzung der Maßnahmen dargelegt.

Kapitel 10 liefert einen Ausblick über den Forschungsbedarf, eine Diskussion der Synergien zwischen den Handlungsfeldern sowie eine Diskussion der Wirkung von Maßnahmen aus anderen Agrarpolitikbereichen auf die Reduktion von Tierarzneimitteln. Dazu liefert er eine Einschätzung der Maßnahmen mit dem größten Potenzial zur Reduzierung von Tierarzneimitteln in der Umwelt, aufgrund von Ergebnissen eines Expertenworkshops, gehalten am 9.-10. März 2016 in Berlin.

2 Bestehende Konzepte zur Eintragsminimierung von Tierarzneimitteln und deren Beurteilung

*Julia Steinhoff-Wagner, Yvonne Ilg, Brigitte Petersen,
mit Unterstützung von Elisa V. Tappe, Simone Schmid, Franziska T. Bögel
Focus Gruppe One-Health,
FoodNetCenter der Universität Bonn*

Maßnahmenüberblick:

2.2	Maßnahme: Besetzung von Gremien nach dem One-Health Prinzip	51
2.3	Maßnahme: Neubewertung umweltkritischer Substanzen und Förderung von umweltfreundlichen Substanzen	52
2.4	Maßnahme: Erweiterung der Bewertungskriterien hinsichtlich der Umweltrisiken bei oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln	54

2.1 Problemstellung

Antibiotikaminimierungskonzepte sind bereits in die Gesetzgebung und in aktuelle Empfehlungen integriert. Dabei spielen in Deutschland vor allem die 16. Arzneimittelgesetz(AMG)-Novelle, die Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie, die Antibiotika-Leitlinien der Bundestierärztekammer (BTK, 2015) und der Leitfaden „Orale Anwendung von Tierarzneimitteln im Nutztierbereich über das Futter oder das Wasser“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL, 2014) eine entscheidende Rolle.

Das bestehende AMG bildet die Basis für die Risikobewertung von Arzneimitteln. Risiken bestehen für das Tier, für den Verbraucher oder für die Umwelt. Bei der Zulassung von Arzneimitteln werden diese Risiken bewertet. Zum Schutz von Lebewesen und Umwelt kann ggf. die Zulassung verwehrt, Auflagen erteilt oder die Erfassung von Daten angeordnet werden. Neben den Risiken von Nebenwirkungen für das Tier und unerwünschten Wirkungen auf die Umwelt befasst sich das Gesetz explizit mit der möglichen Belastung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs durch Rückstände von Tierarzneimitteln. Dieses Risiko für den Verbraucher wird durch die sogenannten „Wartezeiten“ minimiert. Als Wartezeit bezeichnet man die Zeit zwischen der Anwendung des Arzneimittels und dem Inverkehrbringen von Nahrungsmitteln tierischen Ursprungs nach erfolgter Behandlung. Darüber hinaus regelt das AMG die Verantwortlichkeiten des Inverkehrbringens von Tierarzneimitteln, das sogenannte Dispensierrecht. Das deutsche Dispensierrecht ermöglicht es dem Tierarzt, die Tierarzneimittel nicht nur zu verschreiben, sondern gleichzeitig auch aus seiner eigenen Apotheke abzugeben. Speziell in der landwirtschaftlichen Produktion ergeben sich zwischen der Diagnose und der Behandlung dadurch wesentliche zeitliche und arbeitswirtschaftliche Einsparungen. Der Vertrieb in der Hand der Tierärzte und ein damit verbundener Interessenskonflikt zwischen der Minimierung von Tierarzneimittelbehandlungen und dem Verdienst durch den Verkauf von Tierarzneimitteln löst immer wieder heftige Diskussionen aus. In der aktuellen Diskussion um eine mögliche Abschaffung des Dispensierrechts kamen Gutachter zum Schluss (KPMG, 2014), dass die schnellstmögliche Behandlung erkrankter Tiere mit geeigneten Präparaten das Wichtigste ist und dass das derzeit gültige Dispensierrecht dieses optimal regelt. Die Rolle der Tierärzte beim Vertrieb von Tierarzneimitteln hat sich dahingehend geändert, dass die tierärztliche Untersuchung als obligatorische Bedingung für die Verschreibung von Tierarzneimitteln dokumentiert werden muss und damit auch kontrolliert werden kann. Gleichzeitig gibt es Bestrebungen der Länder-Agrarministerkonferenz (2015), derzeit bestehende wirtschaftliche Anreize durch Mengenrabattierung von Pharmafirmen einzuschränken. Der Vorschlag in der Arzneimittelpreis-VO, Festpreise für verschreibungspflichtige Tierarzneimittel vorzugeben, fand aber in diesem Zuge keinen Konsens. Ein immer wieder angeführtes Argument für die Beibehaltung des Dispensierrechts ist, dass durch seine Abschaffung in Dänemark kein Rückgang in den Mengen verschriebener Tierarzneimittel bewirkt wurde (Palzer, 2014).

Das AMG regelt darüber hinaus Umwidmungen. Damit werden alle Anwendungen bezeichnet, bei der das Tierarzneimittel nicht für die Tierart oder die Indikation zugelassen ist oder eigens für die Behandlung hergestellt worden ist. Im Falle eines Therapienotstandes, also einer gesundheitlichen Gefährdung ohne Vorhandensein eines zugelassenen, wirksamen Medikamentes, sind Umwidmungen unter den genannten definierten Voraussetzungen zulässig. Die 16. AMG Novelle, die 2014 in Kraft trat, verpflichtet sowohl den Tierarzt als auch den Tierhalter den Antibiotikaeinsatz zu minimieren und ein Monitoring der Resistenzentwicklung zu etablieren. Damit stellt die Novelle die Grundlage für verpflichtende Meldungen und Dokumentation des Antibiotikaeinsatzes dar. Konkrete Konzepte zur Eintragsminimierung von Tierarzneimitteln, die im AMG detailliert beschrieben werden, beschränken sich derzeit auf antimikrobiell wirksame Stoffe, wobei das Hauptaugenmerk auf der Vermeidung von Resistenzen liegt. Die Minimierung des Antibiotikaeinsatzes wird den

Tierärzten und Tierhaltern als gemeinsames Ziel auferlegt, welches durch die Berechnung und Meldung der Therapiehäufigkeit überprüft wird. Auf Umweltwirkungen zielt zusätzlich die Sorgfaltspflicht des Tierhalters bei der Reinigung und Instandhaltung technischer Anlagen zur Anwendung oraler antimikrobiell wirksamer Stoffe ab, um eine Wirkstoffverschleppung zu verringern (16. AMG Novelle, Art. 1, Abs. 6b).

Die Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie (DART) des Bundesamtes für Gesundheit verweist in vielen Abschnitten auf das AMG und stellt darüber hinaus nationale Maßnahmen zur Minimierung von Antibiotika-Resistenzen dar. U.a. werden in der DART die Verantwortlichkeiten zwischen den Behörden und die Organisation und Dokumentation eines nationalen Monitoringprogramms dargelegt. Die DART beschreibt zudem Aktivitäten im Bereich der Forschungs- und Entwicklungsförderung, sowie der Aus- und Weiterbildung und der Vernetzung von Initiativen auf nationaler und internationaler Ebene. In den Antibiotika-Leitlinien der Bundestierärztekammer werden Hinweise zur praktischen Umsetzung der bestehenden gesetzlichen Regelungen für Tierärzte gegeben (BTK, 2015). Dort sind z.B. Berechnungsbeispiele für Wartezeiten und damit eine Vorgehensweise dokumentiert, die im Falle einer Umwidmung und nicht festgelegter Wartezeiten Anwendung finden sollen. In anderen Bereichen könnten die Hinweise konkretisiert werden, wie z.B. Leitlinie 5: „der Tierarzt hat sich zu vergewissern, dass [...] im Tierhalterbetrieb ausreichende Kenntnisse [...] vorhanden sind“. Es ist weder definiert, was „ausreichende Kenntnisse“ sind, noch anhand welcher Kriterien diese vor Ort erkannt werden können. Als ausgesprochen positives Beispiel sollen an dieser Stelle noch die „Anmerkungen zum Antibiotikaeinsatz beim Pferd“ hervorgehoben werden (Gesellschaft für Pferdemedizin e.V., 2006), die über die Antibiotika-Leitlinien hinaus spezifische Fachfragen klären und in konkreten Fällen alternative Maßnahmen vorschlagen. Diese wurden und werden für andere Tierarten analog erstellt. In Tabelle 1 sind die wesentlichen Kriterien der in Deutschland festgesetzten drei Antibiotikaminimierungskonzepte gegenübergestellt. Darüber hinaus werden die in den Dokumenten beschriebenen Maßnahmen aus Umweltsicht bewertet und im Hinblick auf Minderungspotenzial zum Eintrag von Tierarzneimitteln aus der Landwirtschaft kommentiert.

Tabelle 1: Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Antibiotikaminimierungskonzepten in drei aktuellen Initiativen (16. AMG Novelle, Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie, BTK, 2015).

Antibiotika-minimierungskonzepte und berücksichtigte Kriterien/ Maßnahmen	Initiativen			Kommentierung und Bewertung der Maßnahmen
	16. AMG Nov.	Dt. AB Strat.	BTK AB Leitlinien	
Nachweispflicht des Tierarztes für Abgabe, Verschreibung und Behandlung (inkl. Empfindlichkeitsnachweis)	X	X	X	Die gewählten Formulierungen „...bestimmter Tiere in bestimmten Fällen...“ (16. AMG-Novelle) oder „...sollte (wenn es durchführbar ist)...“ (BTK, 2015) schränken die Pflichten ein und lassen viel Spielraum für die Auslegung. Ein Gespräch mit einer anonymen Tierärztin belegt unsere generelle Einschätzung, dass es sich bei den Angaben der genannten Dokumente zur Minimierung von Antibiotika-Resistenzen aus dem Verständnis von vielen in der Praxis tätigen Tierärzten heraus um Empfehlungen und keine rechtsverbindlichen Vorschriften handele. Es gibt derzeit keine verbindlichen Vorgaben für Antibiogramme bzw. Erregernachweise.
Verordnung über das Führen einer tierärztlichen Hausapotheke, Dispensierrecht, Umwidmungen	X	X	X	Der Tierarzt hat eindeutig definierte Pflichten im Umgang mit Tierarzneimitteln. Bei Verstößen, die in nachgewiesenen Fällen aufgetreten sind (LANUV, 2014), werden Umwidmungen trotz bestehender Behandlungsalternativen nicht geahndet. Dahingegen gibt es einige Urteile zum Verbot des Vertriebs von Tierarzneimitteln in online Versandapotheken oder zum Arzneimitteleinsatz ohne ausreichende Anamnese und Indikation. Gerade im Hinblick auf Umwidmungen und angepasste Dosierungen gestaltet sich die geforderte „Abwägung von Nutzen und Risiken für Tier, Mensch und Umwelt“ (BTK, 2015) für den Tierarzt gerade in Bezug auf die Umweltrisiken schwierig, da verständliche, systematische und frei zugängliche Daten als Entscheidungshilfen zur Risikobewertung für Mensch und Umwelt nur selten zur Verfügung stehen und deswegen die Abwägung meist zugunsten der Umwidmung ausfällt. Bei allen Tierarzneimitteln wird der Risikobewertung in Zuge der Zulassung vertraut, eine differenziertere Bewertung kann nur auf Basis von entsprechenden Informationen dazu verlangt werden.

<p>Festlegung von Wartezeiten, Untersuchung von Rückständen in Lebensmitteln tierischer Herkunft</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>Die Sicherheit für den Verbraucher steht bei Lebensmitteln im Mittelpunkt. Aus den Ergebnissen der umfangreichen Kontrollen im Nationalen Rückstandskontrollplan zur Überwachung von Lebensmitteln tierischer Herkunft ergibt sich, dass den Wartezeiten eine entscheidende Bedeutung bei der Auswahl der eingesetzten Tierarzneimittel in der Praxis beigemessen wird.</p>
<p>Tierärzte sind verpflichtet, Verdachtsfälle von Antibiotika-Wirksamkeitsverlust zu melden</p>			<p>X</p>	<p>Es existieren nur wenige Labore (außer in Kombination mit Forschungsfragen), die eine entsprechende Sicherheitsstufe (S2) für die mikrobiologische Analyse von pathogenen Keimen (S. Aureus) haben. Es werden im Veterinärbereich - ähnlich wie im Humanbereich - noch zu wenige Antibiogramme in die routinemäßigen Diagnostik integriert. Aufgrund dieser Problematik werden die bestehenden Meldewege und Datenbanken mit weniger konkreten Untersuchungsergebnissen gefüllt als bei einem effektiven Wirksamkeitsmonitoring sinnvoll wäre.</p>
<p>Minimierung krankheitsbegünstigender Faktoren durch den Tierarzt, z.B. Impfungen oder Optimierung der Haltungsbedingungen</p>			<p>X</p>	<p>Bei der Minimierung krankheitsbedingter Faktoren fallen prophylaktische Maßnahmen wie beispielsweise die Impfung klar in den Zuständigkeitsbereich des Tierarztes. Bei der geforderten „Optimierung der Haltungsbedingungen“ gibt es für die integrierte tierärztliche Bestandsbetreuung sowohl im Schweinebereich als auch für den Rinderbereich Leitlinien des Bundesverbandes praktizierender Tierärzte. Befragte Tierärzte heben hervor, dass sie gegenüber dem Tierhalter keine Weisungsbefugnis haben und deswegen wenig Einfluss auf Optimierung von Fütterung und Haltungsbedingungen nehmen können.</p>

<p>Der Tierhalter hat die Pflicht, Nachweise über den Erwerb verschreibungspflichtiger Arzneimittel zu führen, gesetzlich geforderte Meldungen zu Tierzahl und Tierart in der HIT Datenbank vorzunehmen, Antibiotikahandlungen zu melden und bei Überschreitung der Therapiehäufigkeitskennzahlen einen Maßnahmenplan zu erstellen</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>Im sog. „Stallbuch“ werden z.B. Abgabebelege gesammelt und Behandlungen dokumentiert. Diese Dokumentation wird im Rahmen von Audits¹ vorgelegt. Das Stallbuch hat sich gut etabliert. Bei der Meldung der Antibiotikaverbrauchsmengen, die mit der 16. AMG Novelle verpflichtend geworden ist, gab es anfangs das Problem der sog. „Nullmeldungen“. Bei diesen war das Problem, dass im Datensatz nicht zwischen denjenigen unterschieden werden konnte, die die Meldung versäumt hatten und denjenigen, die zwar gemeldet, aber keine Tierarzneimittel eingesetzt hatten. Weitere Probleme bei den Meldungen waren die fristgerechte Einhaltung der Meldetermine, nicht nachvollziehbare Tierbewegungen, fehlende Angaben zum Anfangsbestand und falsche Angaben aufgrund von Verwechslungen zwischen Wartezeit und Wirkungstagen. Eine flächendeckende Informationsoffensive der (Landes-) Behörden sollte zu mehr Klarheit unter den zur Meldung verpflichteten Landwirten führen und die Startschwierigkeiten beseitigen. Der Erfolg dieser Maßnahmen und der aktuelle Stand der Umsetzung werden sehr kontrovers diskutiert, es fehlen konkrete Daten. Bei der derzeitigen groben Unterteilung nach Nutzungsarten werden Produktionsstufen und Spezialisierungen nicht genügend berücksichtigt. Beispielsweise wird ein Landwirt, der sich auf einen Produktionsabschnitt spezialisiert, in dem das Risiko für Erkrankungen höher ist, benachteiligt, da sein Betrieb im Vergleich mit Betrieben mit geringerem Risiko mehr Antibiotika einsetzt (z.B. ein auf das Halten von Absatzferkeln spezialisierter Betrieb). Die Berechnung auf Basis der Therapiedauer und der Tierzahl schafft falsche Anreize.</p>
--	----------	----------	---

¹ Tierhalter von Nutztieren, die der Erzeugung von Lebensmitteln dienen, unterstehen einer ständigen Kontrolle durch die zuständigen Behörden (Landes- und Kreisveterinärämter). Zusätzlich erfolgen im Rahmen von freiwilligen Eigenkontrollsystemen (wie z.B. QS oder Bioverbänden) weitere regelmäßige Kontrollen, die der Umsetzung der Standards der jeweiligen Zertifikate dienen. Diese Standards gehen häufig über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus.

<p>Abgaberegeln zwischen Tierarzt und Tierhalter</p>		<p>X</p>	<p>Von allen Seiten werden Regelungen begrüßt, die die Eigenverantwortung des Landwirts stärken und dadurch die Ablauforganisation im Einzelbetrieb vereinfachen, wie die 7-Tage-Regelung § 56a des AMG. Die 7-Tage-Regelung besagt, dass systemisch wirksame Tierarzneimittel mit antimikrobieller Wirkung zur Behandlung von Lebensmittel liefernden Tieren an den Tierhalter in einer Menge abgegeben werden dürfen, die maximal für sieben Tage ausreicht. Im Falle von Antibiotika, die gemäß ihrer Zulassung für eine längere Therapie vorgesehen sind, wird dieser Zeitraum entsprechend verlängert. Diese Regelung soll dazu beitragen, dass systemische Tierarzneimittel mit antimikrobieller Wirkung nur in engem zeitlichem Zusammenhang mit der Diagnosestellung angewendet werden. Somit bleiben die abgegebenen Mengen überschaubar und es entstehen keine Restmengen im landwirtschaftlichen Betrieb.</p>
<p>Die zuständige lokale Behörde trägt die Verantwortung bei der Rückmeldung der Therapiehäufigkeit an den Landwirt und darf durch Anordnungen die Umsetzung und Verbesserungen einfordern</p>	<p>X</p>		<p>Die Erfassung der Therapiehäufigkeit erfolgt erst seit Inkrafttreten der 16. AMG Novelle. Dieses Konzept zur Verringerung der Antibiotikabehandlungen baut in erster Linie auf die Sensibilisierung durch Dokumentation. Nur im Falle der Überschreitungen von am Median orientierten Kennzahlen werden dokumentierte Handlungen erwartet oder sogar Maßnahmenpläne und Zeitpläne zu ihrer Umsetzung von den Landwirten gefordert. Die erste Veröffentlichung der berechneten Therapiehäufigkeiten erfolgte am 31.3.2015. Daher ist es zu früh für wissenschaftliche Untersuchungen oder statistische Auswertungen zum Erfolg dieses Konzeptes. Einzelne Aussagen von Landwirten oder Behörden-Mitarbeitern deuten darauf hin, dass die Beurteilung der vorgeschlagenen Maßnahmen sehr stark personenabhängig zu sein scheint. Zur Entlastung der großen Verantwortung der behördlichen Mitarbeiter könnten bisherige Fälle anonymisiert ausgewertet und Leitlinien zur Vorgehensweise erstellt werden, die dann als Entscheidungshilfe und Handlungsempfehlung dienen können.</p>
<p>Verankerung des Themas „Antibiotika-Resistenz“ in Aus- und Hochschulausbildung</p>		<p>X</p>	<p>Wie in Kapitel 8 dargestellt wird, ist die Behandlung dieses Themas derzeit nicht ausreichend in den Curricula der Ausbildungsstätten verankert. Es wird aber von einer Behandlung der Themen in den Vorlesungen ausgegangen.</p>

Fortbildungen zum aktuellen Stand des Wissens		X	<p>Es werden zunehmend Bereiche identifiziert, die in der Lehre mangelhaft oder sehr wenig einheitlich abgedeckt werden. Diese werden zunehmend von Wissensdienstleistern identifiziert und mit einem gezielten Fortbildungsangebot geschlossen. Mittlerweile haben sich auf europäischer Ebene privatwirtschaftliche Allianzen gebildet, um entsprechende Weiterbildungsangebote abzustimmen und für Akteure der Agrar- und Ernährungswirtschaft anzubieten (z.B. European Qualification Alliance SCE).</p>
Nationales und wirkstoffbezogenes Monitoring		X	<p>Auf den Webseiten der zuständigen Institutionen (Bundesinstitut für Risikobewertung, Paul-Ehrlich-Gesellschaft, BVL, Friedrich-Loeffler-Institut) finden sich umfangreiche, aber recht allgemeine Informationen und Pressemeldungen zu nationalen Monitoringaktivitäten im Bereich von Tierarzneimitteln, Antibiotika und Antibiotika-Resistenzen. Die Veröffentlichung der Daten im Zuge der Abgabe- und Verbrauchsmengen-Registrierung erfolgt in sehr allgemeiner Form (GERMAP, QS-Pressemeldungen, Bekanntmachung zur Therapiehäufigkeit im Bundesanzeiger). Bei wissenschaftlichen Fachtagungen werden darüberhinausgehende Ergebnisse der nationalen Monitoringaktivitäten in Präsentationen gezeigt, die ausschließlich für das Fachpublikum bestimmt und auf anderen Wegen nicht verfügbar sind. Insgesamt fokussiert das nationale Monitoring sehr auf mögliche Auswirkungen des Tierarzneimitelesatzes für Mensch und Tier sowie das Kontaminationsrisiko von Lebensmitteln. Einträge in die Umwelt und indirekte Auswirkungen über Kreisläufe werden noch zu wenig berücksichtigt oder fehlen völlig. Es fehlt auch ein kontinuierliches Monitoring der Verbrauchszahlen, wie es in Pilotstudien mit der Datenbank VetCab erfolgt ist.</p>
Zulassung und Pharmakovigilanz		X	<p>Es ist wichtig, dass die Zulassungskriterien kontinuierlich auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse weiterentwickelt werden. Risiken bestehen durch in der Vergangenheit zugelassene Arzneimittel. Diese wurden nach veralteten Kriterien bewertet und könnten aufgrund des erweiterten Wissensstandes heute anders bewertet werden. Eine Umweltrisikobewertung der Tierarzneimittel, die vor Oktober 2005 (RL 2001/82/EC) zugelassenen worden sind, erscheint nach heutigen Kriterien und Stand des Wissens z.B. für Tetracykline oder Sulfonamide sinnvoll.</p>

			<p>Das derzeitige Pharmakovigilanzsystem beschränkt sich hauptsächlich auf die Aufdeckung von unbekanntem Nebenwirkungen. Bei der Erfolgskontrolle einer Behandlung im Rahmen der tierärztlichen Bestandsbetreuung werden Nebenwirkungen - sofern sie entdeckt wurden - thematisiert. Generell werden beim Tier weniger Nebenwirkungen aufgedeckt als in der Humanmedizin. Die Gründe dafür liegen erstens darin, dass sich das Tier nicht mitteilen kann, zweitens die Symptome der Erkrankung und Nebenwirkungen durch Beobachtung in erster Linie von einem medizinisch nicht geschulten Tierhalter voneinander differenziert werden müssten und drittens diesen Punkten folgend der Aufwand für die Rückmeldung dieser Beobachtung zum Tierarzt erfolgen muss. Dieser müsste daraufhin das Vorkommnis als Nebenwirkung identifizieren und melden.</p>
<p>Forschung und Erfahrungsaustausch</p>		X	<p>Bei nationalen Initiativen wie z.B. der Nationalen Forschungsplattform für Zoonosen könnten interdisziplinäre Ansätze zur Umweltfolgenabschätzung noch weiter gefasst werden. Disziplinen wie Bodenkunde oder Hydrologie gilt es dabei in die Fachgremien für Risikobewertung stärker als bisher zu integrieren.</p>

Bestehende Wissenslücken

Bei den vorhandenen Konzepten geht es vorrangig um Verbraucherschutz und Verhinderung von Resistenzentwicklung. Da sich die Auswirkungen der Minimierungskonzepte in den Jahren dynamisch entwickelt haben und oftmals mehrere Minimierungskonzepte zeitgleich umgesetzt wurden, gestaltet es sich sehr schwierig, den Konzepten direkte und indirekte Synergien zum Umweltschutz auf Basis von wissenschaftlichen Studien zuzuweisen. Ob beispielsweise die Minimierung der Antibiotikaeinträge in die Umwelt bei der Beurteilung der eingereichten Maßnahmenpläne bei erhöhtem Therapieindex eine Rolle spielen wird, hängt derzeit stark von dem Landwirt, dem betreuenden Tierarzt und dem Bearbeiter in der Aufsichtsbehörde ab. Dieses Beispiel zeigt, dass viele Zusammenhänge in der Fachwelt bekannt sind, der wissenschaftliche Nachweis aber aufgrund der schlecht voneinander abgrenzbaren Effekte und der Verfügbarkeit von Daten bisher aussteht und damit die Aussagen anfechtbar bleiben.

2.2 Maßnahme: Besetzung von Gremien nach dem One-Health Prinzip

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Das One-Health Prinzip beinhaltet die inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit nicht nur hinsichtlich der Gesundheitsaspekte von Mensch und Tier, sondern es bettet diese auch im Gesamtsystem von Umwelt, Nahrung und Handel ein. Die Betrachtung des gesamten Systems garantiert die Abwägung vielfältiger Aspekte bei Entscheidungsfindungen. Daher kann eine fachübergreifende Besetzung von Entscheidungsgremien ganzheitlichere Entscheidungen treffen. Dabei müssten auch Landwirte aus der Praxis beteiligt werden. Beispiele für Gremien, die mit wenigen Mitgliedern von Seiten der Tierwissenschaftler (Spezialisierung im Fach Agrarwissenschaften mit dem Fokus auf landwirtschaftlichen Nutztieren) und teilweise auch Tierärzten zusammengesetzt sind, sind in Tabelle 2 aufgelistet. Durch eine ausgewogenere Besetzung kann beispielsweise der Verdacht ausgeräumt werden, dass der Entscheidungsfindung von tierärztlich geprägten Gremien wirtschaftliche Interessen bezüglich des Einsatzes von Tierarzneimitteln zu Grunde lägen.

Für die praktische Umsetzung wären zwei Optionen denkbar: Erstens die Schaffung einer Fach-Quote und zweitens die Förderung von Eigenverantwortlichkeit derjenigen - in erster Linie staatlichen Stellen - die Gremien besetzen, durch eine Sensibilisierung in diesem Bereich und durch öffentlichen Druck. Die Schaffung einer Quote wäre nicht zielführend, da bei festen Quoten die Gremien nicht flexibel auf die Problemstellung angepasst zusammengestellt werden können. Außerdem besteht die Gefahr, dass Personen anderer Disziplinen passiv, das heißt nur formal eingebunden würden. Die bessere Alternative scheint die nachträgliche Darstellung der Mitglieder samt ihrer Fachdisziplinen und Gremienzugehörigkeit durch die besetzende Behörde zu sein. Durch die Veröffentlichung dieser Analysen könnte die Eigenverantwortung gestärkt, Transparenz geschaffen und die Besetzung interdisziplinärer Gruppen bedarfsgerecht ausgerichtet werden. Mithilfe dieser Daten ließe sich auch die Forschung über Meinungsbildung verschiedener Interessensgruppen vorantreiben, um einseitige oder interessensbedingte Entscheidungen besser identifizieren zu können.

Tabelle 2: Abschätzung des Anteils von Tierwissenschaftlern und Tierärzten in Gremien

Institute	Gremien	Geschätzter Anteil der Mitglieder*, %	
		Tierwissensch aftler	Tierärzte
Bundesinstitut für Risikobewertung			
	Wissenschaftlicher Beirat	0	25-35
	Kommission für pharmakologisch wirksame Stoffe und Tierarzneimittel	0	15-25
	Kommission für Hygiene	0	15-25
Robert Koch-Institut			
	Kommission Antiinfektiva, Resistenz und Therapie	0	0
	Wissenschaftlicher Beirat für Public health Mikrobiologie	0	0
	Kommission Umweltmedizin	0	0

* Die Ausbildung der Mitglieder wurde basierend auf im Internet verfügbaren Informationen recherchiert

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Durch eine interdisziplinäre Besetzung von Entscheidungsgremien ließe sich sicherstellen, dass neben fachspezifischen weitere Aspekte, wie z.B. die Betrachtung der Umweltrelevanz oder organisatorische Voraussetzungen des präventiven Gesundheitsmanagements, bei den Entscheidungen eine Rolle spielen. In interdisziplinären Gremien ließen sich gemeinsam Problemlösungsstrategien entwickeln, die zur Reduzierung von Tierarzneimitteln bzw. einem Wechsel zu weniger umweltkritischen Substanzen führen könnten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

In vielen Gremien wird von SpezialistInnen der Nutzen der Interdisziplinarität nicht genügend geschätzt. Gremiumsmitglieder empfinden häufig eine psychologische Loyalität zur eigenen Disziplin. Diese steht häufig einer Konsensbildung bei der Entwicklung von Problemlösungsstrategien im Wege. In der Praxis gibt es immer wieder Beispiele, die diese Zusammenhänge eindrucksvoll belegen (Goetze, 2015).

2.3 Maßnahme: Neubewertung umweltkritischer Substanzen und Förderung von umweltfreundlichen Substanzen

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Das derzeitige Pharmakovigilanzsystem beschränkt sich hauptsächlich auf die Aufdeckung von unbekanntem Nebenwirkungen. Im Rahmen des kontinuierlichen Monitorings von zugelassenen Tierarzneimitteln sollte das Pharmakovigilanzsystem auch neueste wissenschaftliche Erkenntnisse im Hinblick auf die Umweltrelevanz, der artspezifischen Dosis und Applikationsform

berücksichtigen. Nur so kann die gesetzlich verankerte Nutzen-/Risikoanalyse für die sichere Anwendung von Tierarzneimitteln durchgeführt werden.

Dazu sollte das für Tierärzte bestehende Meldesystem für in der Forschung tätige Wissenschaftler geöffnet und erweitert werden. Auf diese Weise können Forschungsergebnisse veröffentlicht werden, die z.B. negative Arzneimittelwirkungen nachweisen oder den Verdacht negativer Auswirkungen für die Umwelt nahelegen. Auch Umweltschutzorganisationen hätten über den Weg der Forschungsförderung die Möglichkeit, auf negative Auswirkungen für die Umwelt aufmerksam zu machen. Nach Überprüfung der Hinweise durch z.B. ein Fachgremium könnten Risiken außerhalb der primären Interessen des Lebensmittelkonsumenten, des Tierhalters und des Tierarztes erkannt und geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Diese Maßnahmen könnten beinhalten, dass Warnhinweise in Packungsbeilagen aufgenommen, Anwendungsbedingungen durch das Pharmaunternehmen konkretisiert oder geändert werden müssen bzw. das Ruhen der Zulassung angeordnet werden kann. Durch die Einbindung wissenschaftlicher Kreise außerhalb der Veterinärmedizin wird die Überprüfung insbesondere der Umweltwirkung transparenter, wodurch die Pharmafirmen unter öffentlichen Druck geraten, eigene Studien zu Anwendungsrisiken zu unternehmen.

In diesem Zusammenhang erscheint es auch sinnvoll, die bereits vom UBA begonnenen Bestrebungen weiter zu verfolgen, einen Konsens zur Einführung eines europäischen Monographiesystems für Altarzneimittel zu erreichen.²

Gleichzeitig sollte die Entwicklung und Zulassung umweltfreundlicher Wirkstoffe durch finanzielle Anreize gefördert werden. Dabei könnten die ressourcenschonende, emissionsarme Herstellung oder die Eignung als Alternative zu umweltkritischem Altarzneimittel als Kriterien herangezogen werden. Die Förderung könnte aber auch die umweltbezogene Optimierung von Prozessen (Vermeidung von Fehlchargen, Anpassung von geeigneten Verpackungsgrößen), die Applikation und die Darreichungsform umfassen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Aufklärung über Umweltrisiken und damit einhergehende Priorisierung von weniger umweltkritischen Substanzen würde langfristig den Prozess des Umdenkens bei praktischen Tierärzten und Landwirten anstoßen, was schließlich auch positive Auswirkungen auf die Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt hätte. Das erneute Hinterfragen bestehender Zulassungen führt zu einer Reduzierung von Einträgen besonders umweltkritischer Altarzneimittel, da einige dieser Stoffe unter den heutigen Voraussetzungen eine Zulassung nur unter Auflagen bekommen würden.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die aufgedeckten Fälle von unerwünschten Nebenwirkungen und die Meldebereitschaft bei Tierärzten sind derzeit nicht besonders hoch. Auch die Verpflichtung der pharmazeutischen Industrie zur Sammlung und Auswertung dieser Meldungen steht deren unternehmerischen Interessen entgegen. Die Meldungen werden also selten über das gesetzliche Maß hinausgehen. Die Meldebereitschaft bei Forschern könnte eventuell durch gezielte Aufforderungen oder Beauftragung im Rahmen von Gutachten sichergestellt werden.

Weitere wichtige Aspekte, die bei der Umsetzung zu berücksichtigen sind, sind die Umweltbewertung als Kostenfaktor und der Erhalt von verfügbaren, zugelassenen Tierarzneimitteln auf dem Markt. Es

² Zu den Bestrebungen zählt z.B. der vom UBA durchgeführte Workshop „Monograph System for active pharmaceutical substances“, gehalten am 26. November 2014 in Brüssel.

ist nicht klar, ob die Neubewertung von Altwirkstoffen vor dem Hintergrund des aktuell vorliegenden Entwurfes für eine neue europäische Tierarzneimittel-VO noch möglich sein wird, da eine einmalige Zulassung angestrebt wird.

2.4 **Maßnahme: Erweiterung der Bewertungskriterien hinsichtlich der Umweltrisiken bei oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln**

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Grundsätzlich sind in das Tier applizierte (intramuskulär, intravenös oder subkutan injizierte) Tierarzneimittel aus vielerlei Gründen zu bevorzugen. Falls dennoch auf orale Tierarzneimittel zurückgegriffen werden muss, gelten die verpflichtenden Regelungen aus dem Leitfaden für die „Orale Anwendung von Tierarzneimitteln im Nutztierbereich über das Futter oder das Wasser“ (BMEL, 2014). Derzeit umfasst dieser hauptsächlich Antibiotika, jedoch kann bei der allgemeinen Formulierung eine progressive Erweiterung begünstigt werden. Durch die wachsende Nachfrage nach oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln wurden in Flüssigkeiten gelöste oder dem Festfutter hinzuzufügende Tierarzneimittel vermehrt produziert. Vor diesem Hintergrund scheint eine Trennung der beiden Gruppen hinsichtlich der Applikationsform und Erweiterung der Zulassungskriterien als geboten. So könnte über die in den Leitlinien formulierten Regeln der guten tierärztlichen Praxis (BMEL, 2014) und Zulassungsbewertungen in Bezug auf die Anwendersicherheit hinsichtlich der Umweltrisiken hinaus differenziert werden. Damit wären transparente Kriterien geschaffen, die eine Bewertung von Löslichkeitsverhalten in Wasser oder Staubentwicklung bei Einmischung in Festfutter im Zuge des vorgeschriebenen Risikomanagementplans zur Feststellung von kritischen Punkten für die Umwelt (BMEL, 2014) ermöglichen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Zukünftig Staubentwicklung als Bewertungskriterium vermehrt heranzuziehen, würde mit der Förderung von Pellets statt Pulver einhergehen, wie in aktuellen Studien empfohlen (Kietzmann & Hamscher, 2014). Gleichzeitig steigt damit auch die Sensibilisierung gegenüber möglichen Verschleppungen wie beispielsweise die Verbreitung von Tierarzneimitteln mit Stallstäuben oder die Spülung der Reste aus Leitungen in die Gülle, wie auch die Einsicht einer Notwendigkeit der Reduzierung von Rückständen in technischen Einrichtungen, durch z.B. die Installation von Rundleitungssystemen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Aufnahme weiterer Bewertungskriterien erhöht den Aufwand für die Erstellung der Unterlagen und stellt einen erhöhten Bearbeitungsaufwand dar. Die damit verbundenen Kosten würden vermutlich auf die pharmazeutischen Unternehmen umgelegt werden. Dadurch werden z.B. umweltfreundlichere Produkte mit geringem Absatzmarkt oder kleinere Unternehmen im Bereich der alternativen Medizin höher belastet bzw. aus dem Markt gedrängt. Um einer ungewollten Verschiebung vorzubeugen, sollte dieser Aspekt bei der Gestaltung des Bewertungsschemas berücksichtigt werden. Speziell im Bereich der Minimierung von Stallstäuben und dem Verbleib von Spülwasser besteht konkreter Bedarf an weiteren technischen Innovationen und praxisorientierten Lösungsstrategien.

2.5 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

Grundsätzlich sind politische Maßnahmen, die Antibiotikabehandlungen in der Tierhaltung minimieren, außerordentlich gut geeignet, gleichzeitig auch die Belastung der Umwelt durch Tierarzneimittel zu vermindern. Es sind erhebliche Synergieeffekte zu erwarten, wenn mögliche Ursachen für einen überdurchschnittlich hohen Antibiotikaeinsatz behoben werden.

Die Regelungen für die Zulassung werden zunehmend auf europäischer Ebene geprägt. In der aktuellen Diskussion ist hier der Entwurf zur EU-Verordnung COM (2014)558 zu nennen, der in seiner bisherigen Fassung die Zulassung von Phytoarzneimitteln und/oder Homeopathika eher erschwert als vereinfacht. Das sollte im Sinne des Tier- und Umweltschutzes vermieden werden. Dazu ist es wichtig, sowohl auf den aktuellen Entwurf als auch auf weitere überarbeitete Versionen des Entwurfes auf europäischer Ebene Einfluss zu nehmen.

Ein langanhaltendes Problem für die Evaluierung der Umweltrisiken von Tierarzneimitteln ist das Problem der sogenannten „Alt-Arzneimittel“, also Arzneimittel, die vor der rechtlichen Anforderung einer Umweltrisikobewertung zugelassen wurden, und für die es wenige Informationen zum Umweltverhalten gibt. Verbunden damit ist die mögliche Etablierung eines Umwelt-Monographiesystems für Arzneimittelwirkstoffe. Die von der EU-Kommission finanzierte Studie „Study on the Environmental Risk of Medicinal Products“ (Mudgal et al. 2013) schätzt die Umweltrisikobewertung von alten Arzneimitteln und die Etablierung eines Umwelt-Monographiesystems als die zwei wichtigsten und erfolgsversprechendsten Lösungsvorschläge in Bezug auf die Gewährleistung der Umweltsicherheit von Arzneimitteln.

Sowohl auf nationaler, als auch auf europäischer Ebene sollten die Gremien möglichst alle Interessen abdecken und transparent arbeiten. Die Bereitstellung von Daten für entsprechende Gremien setzt voraus, dass die Personen innerhalb des Kreises mit Befugnissen ausgestattet werden, um Einblick auch in für sie bislang nicht zugängliche Daten (z.B. im Bereich der Abgabe und Verbrauchsmengen) zu erhalten. Daher muss geprüft werden, wie das innerhalb der heutigen gesetzlichen Grundlage z.B. zur Verarbeitung persönlicher Daten umgesetzt werden kann.

3 Abschätzung der Abgabe- und Verbrauchsmengen und Identifikation der Substitutionspotentiale

*Julia Steinhoff-Wagner, Yvonne Ilg, Brigitte Petersen,
mit Unterstützung von Franziska T. Bögel
Focus Gruppe One-Health, FoodNetCenter der Universität Bonn*

Maßnahmenüberblick:

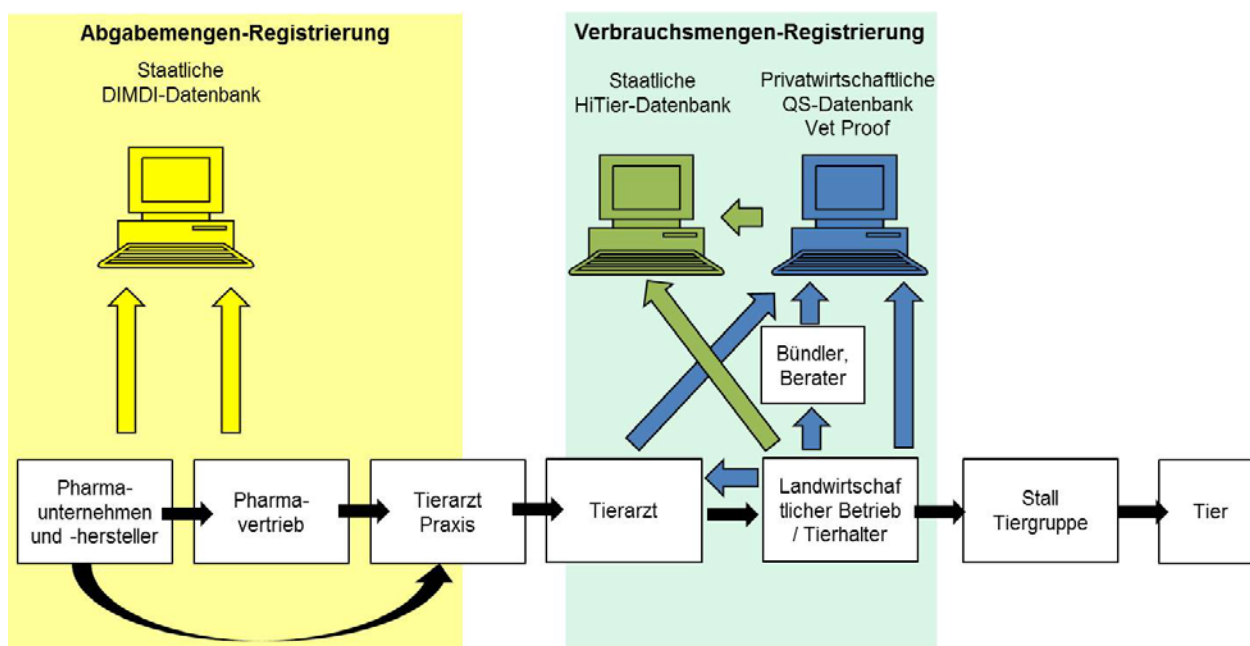
3.2	Maßnahme: Erweiterung der Antibiotika-Datenbank zu einer Tierarznei- mittel-Datenbank	66
3.3	Maßnahme: Harmonisierung von Therapieindizes	67
3.4	Maßnahme: Festlegung von Wirkstoffen mit besonderer Bedeutung in der Veterinärmedizin durch ein einzurichtendes Fachgremium	68
3.5	Maßnahme: Einführung eines Sachkundenachweises für den Einsatz von Schmerzmitteln	69

3.1 Problemstellung

Dokumentation der Abgabe- und Verbrauchsmengen von Tierarzneimitteln – die aktuelle Datenlage

Die Abgabe- und Verbrauchsmengen von Antibiotika werden in Deutschland in drei Datenbanken erfasst (siehe Abbildung 2), die jeweils nur einem sehr eingeschränkten Kreis von Interessensgruppen zugänglich sind. Untereinander sind die Datenbanken - mit einer Ausnahme, die im Folgenden beschrieben wird - nicht kompatibel.

Abbildung 2: Der Weg von Tierarzneimitteln von der Herstellung zum Tier (schwarze Pfeile) und die Meldewege (bunte Pfeile) von den Akteuren zu den unterschiedlichen Datenbanken für Antibiotikamengen



Von staatlicher Seite ist das Tierarzneimittel-Abgabemengen-Register des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) eingerichtet. Nach den gültigen Verordnungen (AMV, PharmStoffVO) müssen antimikrobielle Stoffe oder hormonelle Stoffe, die an Tierärzte abgeben werden, verpflichtend gemeldet werden. Pharmazeutische Unternehmen und Großhändler registrieren die Abgabe von Tierarzneimitteln, die solche Wirkstoffe enthalten, in der staatlichen Datenbank, deren Pflege dem Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) obliegt. Die Abgabemengen von Antibiotika werden in dieser Datenbank nach Wirkstoffklassen getrennt erfasst und veröffentlicht. Da viele überregional tätige, tierärztliche Großpraxen Antibiotika für ihre Hausapotheke zentral bestellen, können im Zuge dieser Datenerfassung zwar die Regionen anhand der Postleitregion³ der Lieferadresse identifiziert werden, nicht aber die Zielregionen der landwirtschaftlichen Betriebe des Tierarzneimittelsatzes. Diese

³ Die Postleitregionen sind die ersten zwei Ziffern der Postleitzahl und umfassen zum Teil mehrere Landkreise ggf. in verschiedenen Bundesländern.

Erfassung gibt keinerlei Auskunft über Indikationen oder Zieltierarten, für welche die Tierarzneimittel verwendet werden.

Die zweite Antibiotika-Datenbank VetProof wurde durch die Qualität und Sicherheit GmbH (QS) initiiert. Deren Nutzung ist für die Mitglieder, hauptsächlich Tierhalter und in deren Auftrag auch Berater und Tierärzte, verpflichtend. Dieses Informationssystem könnte für eine tierartspezifische Auswertung der Abschätzung der Verbrauchsmengen herangezogen werden, da eine relativ große Anzahl der Betriebe (siehe letzte Spalte in Tabelle 3) in allen Produktionsarten QS Mitglieder sind. Eine Weitergabe der freiwillig erhobenen Daten an Dritte wie Forschungseinrichtungen und Behörden ist zunächst nicht vorgesehen. Veröffentlichungen erfolgen nur von QS selber in sehr allgemeiner Form in regelmäßigen Pressemitteilungen. Nach telefonischer Auskunft sollen weitere Statistiken ausschließlich anlassbezogen zur Wiederherstellung des Vertrauens in das QS-Zertifikat erstellt werden. Die interne Auswertung und der eigene Therapieindex werden nur dem Landwirt vierteljährlich zurückgemeldet.

Tabelle 3: Schätzung des Prozentualen Anteils von QS Betrieben

Produktionsstufe	Statistisches Jahrbuch 2015 Anzahl Betriebe	QS Angaben zu Systempartnern Anzahl Betriebe und Bündler		Geschätzter Anteil Marktdurchdringung [#]
		2014	2015	
	(Angaben für 2013)	2014	2015	%
Rinderhaltung (ohne Milch)	51.600	33.579	33.648	65
Milchviehhaltung	78.800	37.803*	39.267*	< 50
Schweinehaltung	49.100	33.576	32.913	65-70
Geflügelhaltung/Brütereien	58.700	2.928	3.052	5

* Gesamtzahl beinhaltet auch 2 bis 5 % Betriebe in anderen Ländern

Auf Basis der Anzahl Betriebe bedeutet, dass es z.B. durch unterschiedliche Betriebsgrößenverteilung von QS- und Nicht-QS-Betrieben zu deutlichen Abweichungen in Bezug auf den Marktanteil von Produkten im Handel kommen kann

Seit Ende 2015 werden von QS zusätzlich Therapieindices nach gleicher Formel (siehe Box 1) für einzelne ausgewählte Wirkstoffe, speziell Fluorchinolone und Cephalosporine der 3. und 4. Generation, erhoben. Die Indices und die von QS bereitgestellten Vergleichsdaten sind Teil der praktischen Beratung von QS-Mitgliedsbetrieben. QS folgte damit 2012 der Pilot-Datenbank VetCab (2011) und schuf eine flächendeckende Erfassung der Verbrauchszahlen von Antibiotika in der Tierproduktion in Deutschland. QS erfasst folgende Kennzahlen: Tierarzt, Betrieb und dessen Produktionszweig, Tierart, Abgabemenge und Rückgabemenge eines bestimmten Arzneimittels, Anwendungsdauer, Abgabedatum und die Anzahl der behandelten Tiere. Die Angabe von Dosis, Applikationsform und Indikation ist noch freiwillig. Ziel des QS-Therapieindex ist die Ableitung von Reduzierungsstrategien und Transparenz für die Wirtschaft und Tierärzteschaft. Nichtmeldungen werden mit Entzug der Lieferberechtigung sanktioniert. Grenzwerte oder Sanktionen für die Überschreitung eines bestimmten Wertes sind nicht festgelegt.

Box 1: Therapieindex und Therapiehäufigkeit

Die Berechnungen unterscheiden sich hauptsächlich in der Bezugsgröße im Nenner. Die Durchschnittliche Anzahl gehaltener Tiere pro Halbjahr ist speziell bei Geflügel oder Ferkelaufzüchtern durch die frequente Wiederbelegung der Ställe innerhalb eines Halbjahres höher als die aktuelle Tierzahl im Bestand.

Berechnung des Therapieindex bei QS:

$$\text{Therapieindex} = \frac{\sum(\text{Anwendungsdauer inkl. Wirktage} \times \text{Anzahl Wirkstoffe} \times \text{Anzahl behandelter Tiere})}{\text{Tierzahl im Bestand}}$$

Berechnung des Therapieindex auf Basis der 16. AMG-Novelle (Anzahl Wirkstoffe wird auch berücksichtigt):

$$\text{Therapiehäufigkeit} = \frac{\sum[(\text{Anzahl behandelter Tiere}) \times (\text{Anzahl Wirkungstage})]}{\text{Durchschnittliche Anzahl gehaltender Tiere pro Halbjahr}}$$

Ein europäisches Expertengremium empfiehlt im Rahmen der „Copenhagen Recommendations“ (European Union, (1998), S. 6) den Einsatz („consumption“) von Antibiotika zu erfassen. In Deutschland wird dieses seit 2014 mit der behördlichen Erfassung der Therapiehäufigkeit umgesetzt (siehe Box 1). Hierbei bildete die Zusammenarbeit der zuständigen Stellen der Länder mit QS die Basis für die Gestaltung eines Meldesystems, bei dem die Daten bei den Betrieben nur einmalig aufgenommen werden müssen. Die behördliche Datensammlung ist über die bereits bestehende HiTier-Datenbank organisiert, die seit 1999 Daten zu Produktionsart und Tierzahl dokumentiert, welche auch im Rahmen der QS-Berechnung genutzt werden. Ähnlich wie bei QS werden in der HiTier-Datenbank die Tierart, die Gesamtabgabemenge eines bestimmten Arzneimittels, die Wirkungs- und Behandlungstage und die Anzahl der behandelten Tiere erfasst. Heimtierhalter, Pferdehalter, Halter von Zuchtieren, kleinen Wiederkäuern oder Wildtieren und Tierhalter kleinerer Bestände sind nicht zur Meldung verpflichtet. Informationen über die Einhaltung empfohlener Dosen, Applikationsform, Indikation oder Einzeltierzuordnung sind auch hier nicht möglich. Die bundesweiten Kennzahlen aus der HiTier-Datenbank werden - nach Nutzungsarten differenziert - halbjährlich im Bundesanzeiger veröffentlicht. Landwirte erhalten eine Rückmeldung ihrer eigenen Therapiehäufigkeit. Überschreitet diese den veröffentlichten Median (Kennzahl I) aller Betriebe, ist der Tierhalter zusammen mit dem bestandbetreuenden Tierarzt verpflichtet zu handeln. Überschreitet der Wert das dritte Quartil (Kennzahl II), ist der Landwirt verpflichtet einen schriftlichen Maßnahmenplan bei der zuständigen Veterinärbehörde einzureichen. Diese Behörde kann gegebenenfalls Sanktionen festlegen, die bis zum Untersagen der Tierhaltung gehen können. Durch die weitverbreitete Beauftragung der Tierärzte mit der Meldung bzw. Hinterlegung der Namen der Tierärzte im Zuge der Beratungsverträge könnte in diesem System das Verschreibungsverhalten des jeweiligen Tierarztes weitestgehend zugeordnet werden und einem Benchmarking unterzogen werden.

Hormonelle Stoffe, Antiparasitika, Schmerzmittel und Narkotika werden im Rahmen der staatlichen Registrierung von Abgabemengen erfasst, jedoch werden die erhobenen Daten nur sehr selten stichpunktartig statistisch ausgewertet oder veröffentlicht. Nach telefonischer Aussage des zuständigen Mitarbeiters beim BVL liegen diese Rohdaten jeweils nur in den Ländern vor. Es gab bisher keine Anfragen bezüglich der Auswertung der Abgabe von z.B. hormonellen Stoffen an tierärztliche Hausapotheken. Zudem bietet die Gesetzeslage hierfür keine ausreichende Grundlage

(ibid.). Die Verbrauchsmengen auf den landwirtschaftlichen Betrieben von Antiparasitika, Schmerzmittel und Narkotika werden in keiner Datenbank erfasst, müssen jedoch auf den Betrieben im Stallbuch dokumentiert werden.

Abgabe- und Verbrauchsmengen - die Zahlen

Für Antibiotika lässt sich anhand der Abgabemengen sowie der Verbrauchszahlen aktuell ein Rückgang beim Einsatz in der Landwirtschaft erkennen. Das BVL veröffentlicht seit 2012 detaillierte Angaben zu den abgegebenen Wirkstoffen aus den letzten Jahren (Tabelle 4), die trotz des generellen Rückgangs der meisten Wirkstoffklassen und damit der Gesamtsumme zeigen, dass speziell der Absatz der Fluorchinolone (insbesondere Enrofloxacin) und von 2013 zu 2014 auch der Absatz der Cephalosporine der 3. und 4. Generation zugenommen hat. Diese Wirkstoffklassen sind wegen Ihrer Bedeutung als antimikrobielle Wirkstoffe mit besonderer Bedeutung (sogenannte Reserveantibiotika) in der Humanmedizin als kritisch zu bewerten (Wallmann et al., 2015).

Tabelle 4: Zuordnung der abgegebenen Mengen an Antibiotika in Wirkstoffklassen (GERMAP, 2012 und Wallmann et al., 2015)

Wirkstoffklasse	Abgegebene Menge (t) 2012	Abgegebene Menge (t) 2014	Differenz (t)
Tetrazykline	566	341,8	-224,2
Penicilline	498	449,8	-48,2
Sulfonamide	162	120,9	-41,1
Makrolide	145	108,6	-36,4
Polypeptid-Antibiotika	124	106,7	-17,3
Aminoglykoside	40	37,8	-2,2
Trimethoprim	26	19,1	-6,9
Lincosamide	15	14	-1
Pleuromutiline	18	12,9	-5,1
Fluorchinolone	10	12,3	2,3
Fenicole	6	5,3	-0,7
Cephalosporine, 1+2. Generation	5	2,1	-2,9
Cephalosporine, 3.Generation	2,5	2,3	-0,2
Cephalosporine, 4.Generation	1,5	1,4	-0,1
Fusidinsäure	<1	<1	
Nitrofurane	<1	<1	
Nitroimidazole	<1	<1	
Summe	1.619	1.235	

Am Beispiel der bedeutendsten Sulfonamid-Wirkstoffe in Tabelle 5 wird deutlich, dass die Änderungen in der Vergangenheit sowohl von Dosis und Preis bestimmt worden sind. Es können aber auch andere Gründe nicht ausgeschlossen werden, wie der Rückgang von Sulfadoxin zeigt. Weitere denkbare Gründe könnten die Verfügbarkeit als Kombi-Präparat beinhalten. Als Kombipräparat werden Arzneimittel bezeichnet, die mehrere Wirkstoffe beinhalten. Die Antibiotika-Wirkstoffe Sulfadimidin, Sulfathiazol und Trimethoprim werden häufig in Kombipräparaten

eingesetzt. Noch ein weiterer Grund könnten gesetzlich verbotene Anreize zum Verkauf sein. Die Pharmaunternehmen standen in der Vergangenheit mehrmalig in der Kritik, da sie den Tierärzten Rabatte oder Prämien anbieten und somit Einfluss auf deren Verschreibungsverhalten nehmen wollten.

Tabelle 5: Sulfonamid-Wirkstoffe kategorisiert nach Änderung der Abgabemengen, Dosis und Preis

Wirkstoff	Änderung 2013/2014	Dosis	Preis
Sulfadiazin	mehr	niedrig	niedrig
Sulfadimethoxin	weniger	hoch	hoch
Sulfadimidin	mehr	hoch	niedrig
Sulfadoxin	weniger	niedrig	niedrig

Bei der Einordnung der Mengenangaben abgegebener Antibiotika sollte gerade im Vergleich zu Zahlen aus der Humanmedizin berücksichtigt werden, dass landwirtschaftliche Nutztiere Antibiotika gemäß der Empfehlungen in höheren Dosen verabreicht bekommen und darüber hinaus diese höhere Dosis mit dem Körpergewicht multipliziert wird, das bei ausgewachsenen Schweinen, Rindern und Pferden um ein Vielfaches höher ist als beim Menschen (Agra-Europe, 2015). Das führt, bezogen auf das behandelte Individuum, zu exponentiell höheren Mengen, gilt aber nicht für Geflügel, deren Gewicht deutlich unter dem von Menschen liegt. Da die Pharmakokinetik durch Anatomie und Physiologie beeinflusst wird und diese sich zwischen Wiederkäuern, Schweinen, Pferden und Geflügel unterscheiden, sollten tierartspezifische Dosierangaben entwickelt werden. Dieses ist bereits bei neueren Präparaten üblich. Insbesondere sollte in solchen Dosierangaben dem Unterschied in der Pharmakokinetik zwischen Jungtier und adultem Tier Rechnung getragen werden, wie auch dem Fakt, dass Jungtiere statistisch gesehen besonders häufig erkranken. Insgesamt liegen zu wenige tierartenspezifische oder ontogenetisch (Vergleich von Jungtieren mit ausgewachsenen Tieren) bedingte Untersuchungen vor, um sinnvolle differenzierte Dosierangaben (mg/kg Tier) auszusprechen. Letztendlich muss hierfür auch die Applikationsform einbezogen werden, da z.B. Antibiotika zum überwiegenden Teil oral verabreicht werden. Der Anteil von anderen Applikationsformen liegt unter 8 % (Wallmann et al., 2015).

Derzeit berechnete Therapieindices stellen eine Kennzahl für die Verbrauchsmenge je Bestand dar, die sich auf Basis der eingesetzten Wirkstoffe und der Dauer der Anwendung berechnet (siehe Box 1). Diese Art der Berechnung führt allerdings zu mehreren falschen Anreizen im Umgang mit Antibiotika. Berichtet wird beispielsweise von Fällen, bei denen die empfohlene Therapiedauer verkürzt oder Wirkstoffe nur mit Blick auf eine Berechnungsgröße ausgewählt wurden. Dieses Vorgehen kann die Entwicklung von Resistenzen fördern. Es gibt von Seiten der Kontrollbehörden und der Wissenschaft Bestrebungen, eine Berechnungsgrundlage für einen nachhaltigen Antibiotikaeinsatz zu schaffen, die EU-weit vergleichbar ist und weniger falsche Anreize schafft. Im Zuge der Überarbeitung der Berechnung sollte zusätzlich dem gegenwärtigen Trend entgegengewirkt werden, alte Präparate oft unterzudosieren und Substanzen mit besonderer Bedeutung im Humanbereich wegen besonders kurzer Therapiedauern zu bevorzugen. Derzeit werden Veränderungen auf Verschreibungsgewohnheiten (Therapiedauer, Dosishöhe, Arzneimittelwahl) nur indirekt erfasst und nicht analysiert. Mit der Erfassung von Tierzahl, Menge pro Tier und Tag und Gesamtanwendungsmenge bestehen verschiedene Möglichkeiten der Plausibilitätsprüfung, die zwar technisch möglich, aber derzeit nicht umgesetzt werden.

Speziell bei oral verabreichten Antibiotika wird derzeit zwischen Fütterungsarzneimitteln und oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln unterschieden (BMEL, 2014). Durch das Verbot des systematischen Einsatzes von sogenannten Leistungsförderern oder Medizinalfutter, der Konkretisierung dieses Verbotes in der Praxis einschließlich des Behebens von Schlupflöchern und gleichzeitig der zunehmenden Sensibilisierung für die Problematik allgemein, kann ein großer Anteil des Rückgangs der Abgabemengen von 2012/2013 bis 2014 nachvollzogen werden. Futterwerke, die zur Herstellung von Medizinalfutter zugelassen sind, haben hohe Auflagen zu erfüllen und können diese nicht mehr kostengünstiger als OAF (oral anzuwendende Fertigarzneimittel) anbieten, verzeichneten daher seit zwei Jahren keinerlei Nachfrage und stellten die Produktion solcher Mischungen ein (Rams, Steinhoff-Wagner und Petersen, 2015). Durch den Wegfall von betriebsferner Mischung und Lagerung von antibiotikahaltigem Futter und dessen Transport reduzieren sich Abfälle und das Risiko für Verschleppung von Antibiotikarückständen oder resistenten Mikroorganismen. Alle derzeit mit Futter oder Trinkwasser verabreichten Antibiotika, die im Rahmen der Metaphylaxe verordnet werden, fallen in die Kategorie OAF, welche zwei Darreichungsformen beinhaltet: diejenigen Antibiotika, die in Flüssigkeiten eingemischt werden (Trinkwasser, Milch oder Milchaustauscher, Futterbrei) und diejenigen, die dem Festfutter zugemischt werden. Daher sollten Bewertungskriterien geschaffen werden, die dem Landwirt erlauben, eine Risikobewertung (auch hinsichtlich von Umweltrisiken) von OAF vorzunehmen, wie im Leitfaden zur oralen Anwendung von Tierarzneimitteln im Nutztierbereich über das Futter oder das Wasser (BMEL, 2014) gefordert. Diese beinhaltet die Beurteilung von Einflussgrößen auf die Mischfähigkeit, die Staubentwicklung und die Priorisierung von z.B. Pellets anstelle von Pulver, nicht nur aus Gründen der Anwendersicherheit. Um die Bedenken von Kritikern auszuräumen, sollten Pellets weiter erforscht werden.

Entscheidungen zur Metaphylaxe stehen derzeit unter kritischer Beobachtung. Um eine weitere Ausbreitung der Krankheitserreger zu vermeiden und aus Tierschutzgründen müssen kranke und infizierte Tiere innerhalb der Tiergruppen unbedingt behandelt werden. Allerdings sind diese Forderungen nicht immer auf Basis individueller Behandlungen umsetzbar, weil bei der Entdeckung teilweise eine bereits erfolgte Ansteckung der Gruppe nicht ausgeschlossen werden kann und infolge dessen Gruppenbehandlungen erforderlich sind. In der deutschen Schweineproduktion (van Rennings et al., 2015) und auch in Dänemark (Agersø, 2012) wurde gezeigt, dass der Faktor „Tierarzt“ den Therapieindex beeinflusst, da das Verschreibungsverhalten der Tierärzte stark unterschiedlich ist. Zukünftig wird es bei einer weiteren Reduzierung des Antibiotikaeinsatzes darum gehen, sowohl gesetzeswidrige Einstellungsprophylaxe zu verfolgen bzw. zu ahnden, als auch die unterschiedlichen Einschätzungen der Notwendigkeit einer Verschreibung durch Tierärzte auf nachvollziehbare und prüfbare Kriterien zu stützen. Diese sollten auch für spezielle Situationen, wie Behandlungen nach Einstellung für Jungtiere und Trockenstellen/Absetzen von Muttertieren, festgelegt werden, da in diesen Bereichen vermutlich das größte Reduktionspotenzial liegt.

Hormone

Der Einsatz von Wachstumshormonen zur Leistungssteigerung ist EU-weit schon seit den 1990er Jahren verboten (94/936/EC; 90/218/EEC; Hughes & Heritage, 2004). Bei einer Recherche in Datenbanken zu Urteilen in der Tierproduktion konnten keine Verstöße gegen dieses Verbot verzeichnet werden (Rams, Steinhoff-Wagner und Petersen, 2015). Das Verbot bezieht sich jedoch nicht auf alle Hormone. Gegenwärtig werden vorwiegend Sexualhormone und Kortisone in der Praxis eingesetzt (Hörning, 2014), wobei bestätigende Absatz- oder Verbrauchszahlen differenziert nach diesen Gruppen nicht vorliegen. Allerdings könnte die Menge an eingesetzten Sexualhormonen relativ sicher auf Grund der eingesetzten Produktionsverfahren (Synchronisation aller Tiere, Synchronisation der Jungsauen oder keine Synchronisation) abgeschätzt werden, jedoch fehlen auch hier grundlegende Daten. Der Bundesverband für Tiergesundheit e.V. verweist auf die veröffentlichten Zahlen zum Umsatz der Pharmaindustrie, bei der Hormone hauptsächlich in die

Gruppe der Pharmazeutischen Spezialitäten, das heißt alle industriell hergestellten Substanzen, wie Schmerzmittel, Entzündungshemmer und synthetische Hormone⁴ eingeordnet werden, die 2014 einen Anteil von 31 % am gesamten Umsatz ausmachten (BfT, 2014).

Die Gruppe der am häufigsten eingesetzten Hormone in der Tierproduktion sind die Sexualhormone. Um bei weiblichen Zuchttieren (Sauen oder Kühe) die Fortpflanzungsstörungen zu verhindern bzw. den Zyklus zeitlich zu beeinflussen, werden diese vor allem in Betrieben mit intensiver Tierhaltung eingesetzt. Eine zeitliche Beeinträchtigung des Zykluses, die sogenannte Synchronisation, wird eingesetzt, um Arbeitsabläufe im Hinblick auf den Personaleinsatz zu optimieren und Tierbewegungen in Gruppen zu lenken. Es gibt jedoch auch alternative Lösungen (technisch oder durch Management), die anstelle eines Hormoneinsatzes zu einer optimierten Organisation der Produktionsabläufe beitragen können. Eine Optimierung der Produktionsabläufe bedeutet beispielsweise in der Schweineproduktion, dass nicht Einzeltiere vom Deckstall (Ort der Besamung) in den Wartestall (während der Trächtigkeit) und dann in den Abferkelstall (Geburt und Säugephase) wechseln, sondern dass dieses aufgrund der zeitlichen Parallelität in ganzen Sauengruppen geschieht. Dieses Verfahren wird als „Rein-Raus-Verfahren“ bezeichnet. Zwischen den Gruppen kann der gesamte Stall gereinigt und desinfiziert werden. So wird vermieden, dass neue Tiere in die Gruppe kommen. Als Argument für den regelmäßigen Einsatz von Sexualhormonen werden die Optimierung von Arbeitsabläufen zur Erleichterung von Hygienemaßnahmen und optimale Nutzung personeller Ressourcen genannt. Inwieweit sich durch den Einsatz von Sexualhormonen auch der Gesundheitsstatus von Herden verbessert und der Einsatz von stärker umweltrelevanten Tierarzneimitteln reduziert werden kann, ist nicht erforscht. Dieses wäre dann insbesondere einer verbesserten Stallhygiene zuzuschreiben. Vergleichende Studien, die zweifelsfrei die Hormongabe als entscheidenden Faktor identifizieren, sind nicht bekannt. Bei Milchkühen ist aufgrund der Dauer des Reproduktionszyklus und der Länge der Laktation ein Rein-Raus-Prinzip schlecht realisierbar. Hormonelle Brunststeuerung kann in der Milchkuhhaltung durch technische Verfahren zur Brunsterkennung und die Haltung eines sogenannten „Ausputzers“ ersetzt werden.

Hormone werden nur nachrangig zur Therapie eingesetzt (Hörning, 2014). Dexamethason aus der Stoffklasse der Kortisone und deren Analoge sind als einzige Wirkstoffe identifiziert worden, welche in nennenswerten Mengen in der Praxis für die Behandlung relativ häufig auftretender Erkrankungen verwendet werden, z.B. beim Mastitis-Metritis-Agalaktie-Syndrom beim Schwein oder der Ketose bei der Milchkuh. Auch beim Pferd und bei Heimtieren ist der Verbrauch vermutlich recht hoch, da einerseits Allergien zugenommen haben und andererseits nicht infektiös bedingte Entzündungen zunehmend als diese identifiziert und behandelt werden. Die Sensibilisierung für eine Trennung zwischen infektiösen und nicht-infektiösen Erkrankungen hat auch im Kleintierbereich vor dem Hintergrund einer notwendigen Reduzierung der Antibiotikabgaben zugenommen.

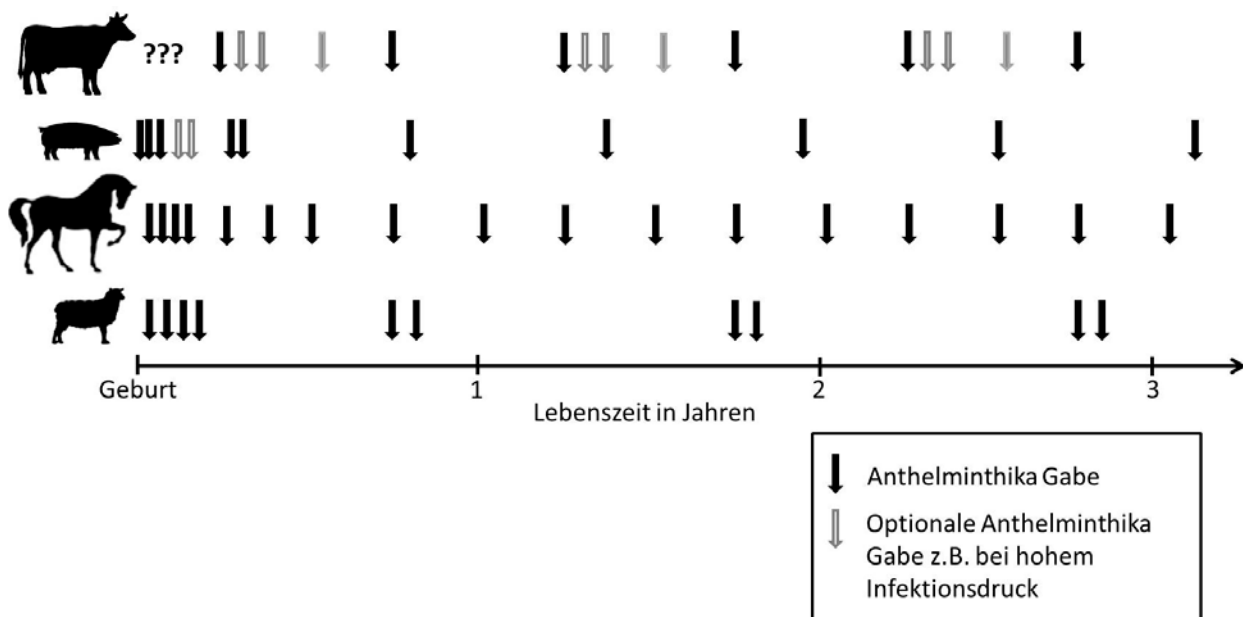
Antiparasitika

Nur wenige Informationen über die eingesetzten Wirkstoffe der Gruppe der Antiparasitika sind bislang veröffentlicht. Die häufigsten von Rinder-, Schaf- und Pferdehaltern genannten Präparate enthalten die Wirkstoffe Ivermectin und Fenbendazol. Durch die festgelegten Wartezeiten bedingt, wird bei laktierenden Kühen wahrscheinlich deswegen Eprinomectin am häufigsten eingesetzt, weil bei anderen Wirkstoffen die Milch während und nach der Behandlung entsorgt werden muss. Die Entwurmung erfolgt auf konventionell wirtschaftenden Betrieben ca. ein- bis zweimal im Jahr,

⁴ Der Begriff bezieht sich auf die Kategorisierung des Bundesverbandes für Tiergesundheit (BfT), der Tierarzneimittel einteilt in: 1. Antiinfektiva (Antibiotika), 2. Antiparasitika, Biologika (Impfstoffe, Seren und biologisch gewonnene Hormone) und 4. Pharmazeutische Spezialitäten (alle industriell hergestellten Substanzen, wie Schmerzmittel, Entzündungshemmer und synthetische Hormone).

wohingegen die Angaben bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben eine deutlich höhere Varianz aufweisen. Diese Betriebe setzen entweder sehr selten oder sehr häufig Antiparasitika ein; welcher der beiden von Tierärzten und Tierheilpraktikern beschriebenen Fälle häufiger auftritt, müsste in repräsentativen Studien untersucht werden. Bei den Betrieben, die wenig Antiparasitika einsetzen, werden die Tiere phytomedizinisch behandelt oder die Parasiten mittels Kotproben identifiziert und nur bei nachgewiesenem Befall auf Antiparasitika zurückgegriffen (selektive Entwurmung). Dagegen müssen andere ökologisch wirtschaftende Betriebe Antiparasitika dann deutlich häufiger einsetzen als konventionelle Betriebe, wenn die Tiere durch Weidehaltung einem höheren Risiko der Infektion ausgesetzt sind (unabhängig von der Nachweispflicht beim Bio-Zertifikat). Bei Pferden wurde der Antiparasitikaeeinsatz mit drei- bis viermal im Jahr (65 %) und ein- bis zweimal im Jahr (25 %) angegeben (Reiterforum, 2009). Gerade im Bereich aller landwirtschaftlichen Jungtiere sind die Häufigkeiten des Einsatzes aufgrund der ausgesprochenen Empfehlungen hoch (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Empfehlungen für die frequente strategische Entwurmung von Rindern, Schweinen, Pferden und Schafen in Abhängigkeit von der Lebenszeit (ab Geburt). Die Empfehlungen stammen von Pharmaunternehmen (alle), Webseiten von Tierarztpraxen (Schwein, Rind und Pferd), Webseiten speziesspezifischen Interessensgruppen (Schwein, Pferd und Schaf) und Landwirtschaftskammern (Schwein).



Selektive Entwurmung versus frequente strategische Entwurmung: Bei der selektiven Entwurmung werden individuelle Tiere nur bei Bedarf nach vorheriger Kotprobe entwurmt, wohingegen bei der frequenten strategischen Entwurmung die Antiparasitika nach Empfehlungen zu bestimmten Zeitpunkten routinemäßig an alle Tiere verabreicht werden.

Im Jahr 2014 wurde eine Zunahme des Antiparasitikaabsatzes von 12,6 % im Vergleich zum Vorjahr verzeichnet (BfT, 2014). Diese kann in Zusammenhang mit dem milden Winter und der Durchschnittstemperaturerhöhung gebracht werden (Förster et al., 2009, Laabs, 2009). Durch diesen Effekt könnte eine zunehmende Akzeptanz der Tierhalter zu dem Konzept der selektiven Entwurmung überlagert worden sein, denn neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass die Sensibilität gegenüber der Vermeidung von antiparasitären Resistenzen zunimmt (Bögel, Steinhoff-Wagner und Petersen, 2015). Zum anderen wird Resistenzbildung gegen Anthelminthika in

einschlägigen Fachzeitschriften vermehrt thematisiert (Bögel, Steinhoff-Wagner und Petersen, 2015). Beides spricht eher für eine Reduktion der Entwurmungen pro Tier und Jahr und für damit einhergehende Reduzierungen der Einträge in die Umwelt und Vermeidung von Resistenzen.

Schmerzmittel und Narkotika

Das Tierwohl, welches im Interesse der Öffentlichkeit steht, wird durch zahlreiche aktuelle Verordnungen und Beschlüsse gefördert, unter anderem durch das Verbot der betäubungslosen Kastration ab 2019 (Abschaffung der Ausnahmen im Zuge der Novellierung des Tierschutzgesetz §5) und der zunehmend verpflichtenden Schmerzmittelgabe bei der Enthornung (Erlasse auf Länderebene: z.B. „Düsseldorfer Erklärung“ (Deutscher Bauernverband et al., 2008) für Nordrhein-Westfalen oder Landeskodex in Schleswig-Holstein). Daher wurden in den letzten Jahren in Deutschland vor allem vermehrt Zulassungen von prä- und postoperativen Schmerzmitteln vorangetrieben. Dennoch ist die Palette der zugelassenen Schmerzmittel für diese Indikationen noch begrenzt. Die am häufigsten genannten Schmerzmittel sind Flunixin, Meloxicam, Metamizol und Ketoprofen (Müller & Weber, 2012). Eine Dokumentation über Abgabemengen oder Verbrauchsmengen steht derzeit nicht zur Verfügung. Die Leitlinien für die Schmerzreduktion bei Kastration und Enthornung empfehlen, nicht-steroidale Antiphlogistika einzusetzen (Bernemann, 2012, Peinhofer, 2013). Weiterhin gibt es Bestrebungen in anderen europäischen Ländern, die Eingriffe nur noch unter Narkose zuzulassen. So kastrieren Schweineproduzenten in den Niederlanden und Belgien Ferkel unter einer CO₂/O₂-Narkose. In der Schweiz wird hierfür Isofluran verwendet. Alternativen zu chirurgischen Eingriffen wären eine züchterische Reduzierung des Ebergeruchs oder Zucht auf Hornlosigkeit. Auch wäre die Ebermast oder die Haltung behornter Tiere denkbar, wobei dazu wahrscheinlich die Besatzdichte zur Vermeidung von Verletzungen und anschließend notwendig werdenden Behandlungen reduziert werden müsste. Züchterische Maßnahmen setzen sich allerdings aufgrund der Länge der Generationsintervalle sehr langsam durch, sodass Experten z.B. bei der Zucht auf Hornlosigkeit von ca. 20 Jahren ausgehen. Auch für die Eberhaltung benötigt die züchterische Reduzierung des Ebergeruchs und des ausgeprägten Kampfverhaltens von Ebern weitere Forschung auf diesem Gebiet. Vor diesem Hintergrund wird der Schmerzmitteleinsatz in den kommenden Jahren stark ansteigen.

Gleichzeitig wird zunehmend der Einsatz von Entzündungshemmern mit Einzeltierantibiose statt Metaphylaxe mit Antibiotika empfohlen (Bernemann, 2012) und in der Praxis umgesetzt. Diese Variante der Bestandbehandlung reduziert den Antibiotikaeinsatz und den daraus berechneten Therapieindex. Folgende Wirkstoffe innerhalb der Gruppe der nicht-steroidalen Antiphlogistika werden in diesem Zusammenhang für besonders geeignet empfohlen: Na-Salicylat, Acetylsalicylsäure (ASS) und Ketoprofen. Kritiker beklagen, dass es bei der einfachen Substitution von Antibiotika mit Entzündungshemmern nicht zu einer nachhaltigen Veränderung des präventiven Gesundheitsmanagements kommt und somit in diesem Bereich ungenutztes Potential im Hinblick auf mehr Tierwohl und Einsparungen von Tierarzneimitteln liegt.

Wissenslücken

Angaben zu den in den Betrieben tatsächlich am Einzeltier eingesetzten Tierarzneimitteln sind zwar in Stallbüchern vorhanden, aber für statistische Auswertungen faktisch bislang nur selten erhältlich. Der Informationsbedarf ist hier außer für Antibiotika noch ungedeckt. Detaillierte Informationen über verwendete Dosen, Tierart und Indikation wären für eine bessere Risikoabschätzung und die Identifikation der Substitutionspotentiale notwendig.

Bei Antibiotika und Schmerzmitteln und speziell bei der Verabreichung von Antiparasitika müssten Herstellerempfehlungen auf ihre Gültigkeit überprüft werden. Dabei geht es um die in den vorherigen Absätzen beschriebene Berücksichtigung der unterschiedlichen Spezies bei der Pharmakokinetik, die Einarbeitung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu Dosierungen und Resistenzentwicklung sowie die häufige Verabreichung von Tierarzneimitteln an Jungtiere.

3.2 Maßnahme: Erweiterung der Antibiotika-Datenbank zu einer Tierarzneimittel-Datenbank

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Die Erweiterung der Antibiotika-Datenbank zu einer Tierarzneimittel-Datenbank sollte unter vier Aspekten geschehen:

1. Der Nutzung der Wege und Struktur der Meldungen von Landwirten und Tierärzten auch für weitere Wirkstoffe.
2. Der Erweiterung der Antibiotikadatenbank mit Spezies und Indikation und integrierte, automatisch generierte Meldungen von „Off label use“, mit eventueller Textfeldeingabe zur Nennung der Umwidmungsgründe nach Vorbild der Pilot-Datenbank VetCab.
3. Der Zugänglichkeit von Erhebungsdaten für Wissenschaftler von Landes- und Bundesinstituten sowie Universitäten.
4. Der Erweiterung auf alle Nutztiere (Zuchttiere, Mastkaninchen, andere Wirtschaftsgeflügelrassen etc)

Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen Zugang zu Daten abgegebener Wirkstoffe zu verschaffen, verbessert die konkrete Lageeinschätzung und Risikobewertung. Langfristig empfiehlt es sich, die Verbrauchsdaten aller verschreibungspflichtigen Wirkstoffe in Verbindung mit der Zieltierart und der Indikation zu dokumentieren und einer Auswertung zur Verfügung zu stellen. Dabei geht es speziell um die Weitergabe anonymisierter Datensätze an interessierte Forscher- und Projektgruppen. Bei der Erweiterung der Erfassung von Verbrauchsdaten von Tierarzneimitteln allgemein sollte unbedingt auf bestehende Datenbanken von Wirtschaft und Behörden im Rahmen der Dokumentationspflichten (Stallbuch, AuA-Belege⁵) zurückgegriffen und keine weitere Erfassungsstrukturen geschaffen werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimittleinträge in die Umwelt

Durch Dokumentation, Auswertung und regelmäßige Veröffentlichung der tatsächlichen Abgabe- und Verbrauchsmengen von Tierarzneimitteln ergeben sich Vergleichsmöglichkeiten zwischen Betriebsformen, Produktionssystemen und später eventuell auch EU-Ländern aufgrund einheitlicher tierarztspezifischer Kenngrößen. Durch diesen Benchmarking-Ansatz lassen sich alle Akteure

⁵ AuA = Anwendungs- und Abgabebeleg

sensibilisieren und zur Suche nach Substitutionspotentialen und Alternativen sowie zur Reduktion auf ein notwendiges Maß motivieren. Die Erfassung von Präparat, Tierarzt und Zieltierart im Zusammenhang mit der jeweiligen Indikation könnte in der Diskussion um den Anteil der Einnahmen von Tierärzten durch Tierarzneimittelverkauf für Klarheit sorgen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass diese Maßnahme auch den Tierarzneimittelkonsum im Bereich Hormone, Schmerzmittel und Antiparasitika reduzieren kann.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Maßnahme kann nur dann effektiv sein, wenn die Abgabe- und Verbrauchsmengen permanent und einheitlich erfasst und ausgewertet werden. Dazu müssen die entsprechenden Strukturen und Pflichten von allen Beteiligten als sinnvoll und zielführend anerkannt werden. Wirkungsgrenzen bestehen speziell bei der Harmonisierung von Erfassungssystemen unterschiedlicher EU-Länder, da Vertriebswege und Erfassungssysteme grundlegende Unterschiede aufweisen. Problematisch ist die Erfassung von Substanzen, die im Humanbereich apothekenpflichtig sind und von Landwirten in Apotheken oder aus anderen Quellen legal erworben, aber der Zulassung entsprechend eigentlich nicht bei Nutztieren eingesetzt werden dürfen, wie z.B. Acetylsalicylsäure. In diesem Bereich fehlt es an verständlichen Informationen, die zu mehr Rechtssicherheit führen und auch an Studien, die Grauzonen identifizieren, um diese dann abschaffen zu können.

3.3 Maßnahme: Harmonisierung von Therapieindizes

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Als negative Auswirkung der derzeitigen Berechnung des Therapieindex gilt der Anreiz, Therapiedauern zu verkürzen. Das führt zu einer Präferenz von One-Shot-Antibiotika und der Vermeidung von Kombipräparaten – alles kontraproduktive Folgen aus One-Health Gesichtspunkten. Durch die starke Kritik an der aktuellen Berechnungsweise scheint eine baldige Überarbeitung der Berechnungsformel bzw. eine Änderung der Verbrauchsmengenerfassung notwendig (z.B. differenziert nach Wirkstoffgruppen und Indikation).

EU-weit erfolgt die Berechnung von Kennzahlen des Antibiotikaeinsatzes sehr unterschiedlich: Nachbarländer, wie z.B. die Niederlande, stellen ihre Erfolge bei der Reduzierung von Antibiotikaverbrauchszahlen stark in den Vordergrund und vermarkten vor allem prozentuale Rückgänge. Diese basieren im Vergleich zu Deutschland auf einem höheren Ausgangsniveau. Infolge des in Dänemark erlassenen Gesetzespaketes zur Reduzierung des Antibiotikaeinsatzes kam es kürzlich zu einem Jojo-Effekt in den Verbrauchszahlen. Nach einer statistisch zunächst sehr starken Reduzierung folgte wieder eine Erhöhung, da in bestimmten Zeitabschnitten erkrankte Ferkel möglicherweise zu wenig behandelt wurden. Eine Reduktion des Medikamenteneinsatzes um jeden Preis wäre tierschutzrechtlich kritisch zu bewerten.

Ein weiterer Schwachpunkt der Antibiotikareduktions-Kampagnen ist, dass die Daten nicht EU-weit einheitlich erhoben werden. Die Auswirkungen von politischen und privatwirtschaftlichen Maßnahmen in verschiedenen Ländern ließen sich besser auf der Basis einheitlich erhobener Daten beurteilen und vergleichen. Im Zuge einer Überarbeitung der Berechnungsformel wäre es daher sinnvoll, diese EU-weite Vergleichbarkeit anzustreben und dazu ein Fachgremium über Landesgrenzen hinweg zu bilden. Das Gremium sollte interdisziplinär zusammengesetzt sein.

Bei der Berechnung könnten die Wirkstoffe zusätzlich gemäß ihrer Relevanz als antimikrobieller Wirkstoff mit besonderer Bedeutung im Humanbereich und ihrer Präsenz in der Umwelt (wie die ihrer Metaboliten) bewertet und gewichtet werden. Die Indikationen sowie die Tierzahl könnten jeweils als Faktoren in die Gleichung integriert werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Eine Entkopplung der Berechnung von der Therapiedauer würde dazu beitragen, den Therapieerfolg in den Mittelpunkt zu stellen. Auf diese Weise würde auch das Problembewusstsein verstärkt, z.B. antimikrobielle Wirkstoffe mit besonderer Bedeutung (sogenannte Reserveantibiotika) weniger einzusetzen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

In vielen EU-Ländern ist die Einführung eines Therapieindex nicht vorgesehen bzw. die Überarbeitung vorhandener Indizes nicht geplant.

3.4 Maßnahme: Festlegung von Wirkstoffen mit besonderer Bedeutung in der Veterinärmedizin durch ein einzurichtendes Fachgremium

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Für den Humanbereich sind von der WHO antimikrobielle Wirkstoffe mit besonderer Bedeutung festgelegt und deren Verwendung an den Nachweis des Wirkverlustes anderer Wirkstoffe gekoppelt. In der zum Zwecke der Erstellung dieser Fachbroschüre durchgeführten Literaturrecherche und Interviews haben sich Tierärzte und Landwirte sehr häufig auf die fehlende Definition im Bereich der Veterinärmedizin berufen. Hier sollte durch eine eindeutige Definition für den veterinärmedizinischen Bereich Interpretationsspielraum eingeschränkt und eine klare Vorgabe für die Priorisierung von für die Behandlung resistenter Keime unkritischen Antibiotika gemacht werden. Unterstützenswert und ausbaufähig ist daher die Initiative vom BMEL Cephalosporine der 3. und 4. Generation, Makrolide und Fluorchinolone konkret als „Antibiotika von besonderer Bedeutung“ (Eckpunkte für weitere Regelungen für den Einsatz von Antibiotika bei Tieren, BMEL 2015a) zu benennen und deren Einsatz zu reglementieren.

Um unter Tierschutzgesichtspunkten die Handlungsfähigkeit der Tierärzte nicht zu beschränken, sollte ausdrücklich auf einen Vorbehalt dieser Wirkstoffe mit besonderer Bedeutung nur für den Humanbereich verzichtet werden. In welchen Fällen das vom BMEL vorgeschlagene Umwidmungsverbot speziell im Falle von bereits vorhandenen Resistenzen zur Handlungsunfähigkeit führt, müsste mit Hilfe von Praxisdaten jedoch noch untersucht werden. Die Vorschläge, den Einsatz von diesen Antibiotika analog zur Humanmedizin auch an den vorherigen Nachweis des Wirkverlustes zu priorisierender Wirkstoffe zu koppeln und Standards für die Durchführung des Nachweises festzulegen, sollten auf jeden Fall unterstützt werden. Daten aus solchen Untersuchungen können dazu dienen, einen Überblick über die Resistenzsituation in den Betrieben zu bekommen. Über die Nachweispflicht ist ein überprüfbares Kriterium geschaffen worden, um Verstöße feststellen und ahnden zu können.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Der in den letzten Jahren zunehmende Einsatz von Wirkstoffen in der Veterinärmedizin mit besonderer Bedeutung für die Humanmedizin könnte mithilfe dieser Maßnahme reduziert oder sogar gestoppt werden. Darüber hinaus konkretisiert die Festlegung bestimmter Stoffe die in der DART genannten Verpflichtung der Tierärzte, Wirksamkeitsverluste zu ermitteln und zu melden. Durch eine Pflicht zum Nachweis des Wirkverlustes und den damit verbundenen Analysekosten sinkt gleichzeitig die Attraktivität von antimikrobiellen Wirkstoffen mit besonderer Bedeutung. Auf diese Weise wird eine Datengrundlage geschaffen, die für das einzurichtende Fachgremium Basis für weitere Entscheidungen sein kann.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Derzeit existieren nur wenige kommerzielle Labore, die routinemäßig Resistenzanalysen durchführen. Dementsprechend sind die Kosten für diese Analysen derzeit noch verhältnismäßig hoch und Standards für z.B. praxisorientierte Schnelltests müssten noch festgelegt werden.

3.5 Maßnahme: Einführung eines Sachkundenachweises für den Einsatz von Schmerzmitteln

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Aus tierschutzrechtlicher Sicht ist die Kastration ohne den Einsatz von Schmerzmitteln kritisch zu bewerten (Langhoff, 2008). Derzeit wird die Suche nach Alternativen von Behörden, Wissenschaftlern und Verbänden stark vorangetrieben (Schulze-Geisthövel, 2015). Allerdings wurde bisher noch keine praxistaugliche Alternative entwickelt. Aus diesem Grund werden Arzneimittelhersteller und Behörden in der „Düsseldorfer Erklärung“ (Deutscher Bauernverband et al., 2008) aufgefordert, schnellstmöglich die Voraussetzungen zu schaffen, eine routinemäßige Anwendung von Schmerzmitteln durch die Tierhalter zu ermöglichen. Das geltende AMG würde nach Einschätzung von in der Praxis tätigen Tierärzten die Abgabe zulassen, jedoch läge eine sehr große Verantwortung in der Aufklärung der Tierhalter durch die Tierärzte, die derzeit nicht alle befragten Tierärzte auf sich nehmen würden (Rams, Steinhoff-Wagner und Petersen, 2016). Im Rahmen der „Düsseldorfer Erklärung“ wird vorgeschlagen, diese an eine Anleitung durch einen Tierarzt zu knüpfen. Analog wird auch für die Enthornung von Rindern die Schmerzmittelgabe zunehmend verpflichtend.

Durch die Einführung eines Sachkundenachweises von Tierhaltern für den Einsatz von Schmerzmitteln könnte man die bisher routinemäßig auf landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführten Tätigkeiten in ihrer Ablauforganisation erhalten und trotzdem sicherstellen, dass im Sinne des Tierschutzes diese Eingriffe nur unter schmerzreduzierender Medikation durchgeführt werden.

Die Inhalte des Sachkundenachweises müssten durch ein Gremium festgelegt werden und könnten sich an der schweizerischen Rechtsvorschrift zur Frühkastration männlicher Ferkel orientieren. Diese enthält neben einem theoretischen Teil auch einen praktischen, der das Üben unter Aufsicht beinhaltet. Im theoretischen Teil werden Kenntnisse über Gesetzeslage, Anatomie, Stress, Schmerzausschaltung und Wirkstoffe vermittelt. Darüber hinaus sollten umweltrelevante Aspekte im Curriculum enthalten sein. Nach Inkrafttreten des Verbotes der betäubungslosen Kastration in Deutschland ab 2019 sollte auch die präferierte Narkosemethode Teil des Sachkundenachweises werden, sofern sich ein Verfahren bis dahin als für die Praxis geeignet durchsetzt.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimittelinträge in die Umwelt

Durch die Reduktion von unsachgemäßer Anwendung können Sekundärinfektionen vermieden und Antiinfektiva reduziert werden. Eine Legalisierung einer Schmerzmittelgabe durch den Landwirt wirkt einer Schwarzmarktbildung entgegen und entlastet die Tierärzte im Hinblick auf ihre Verantwortung bei der Abgabe von Schmerzmitteln. Der Sachkundenachweis stellt auch sicher, dass die Tierärzte die Anleitung im Umgang mit den Tieren und den Medikamenten im Rahmen des praktischen Teils durchführen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Sachkundenachweis müsste durch eine Plausibilitätsprüfung der Abgabe- und Verbrauchsmengen von Schmerzmitteln regelmäßig überprüft werden. Ansonsten bestünde die Gefahr, dass die entsprechenden Wirkstoffe mit gleichzeitiger entzündungshemmender Wirkung anstelle von Antibiotika auch innerhalb anderer Risikophasen in der Produktion eingesetzt werden (Bernemann, 2012).

3.6 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

In diesem Themenfeld geht es in erster Linie darum, die unterschiedlichen Positionen von Berufsverbänden und deren Standespolitik zu einem Konsens zu führen. Dies gilt sowohl für die Besetzung eines derartigen nationalen Gremiums zur Umsetzung der Deutschen Antibiotika-Resistenzstrategie als auch für das Curriculum und die Ausgestaltung eines Sachkundenachweises. Natürlich müssen entsprechende gesetzliche Regelungen geschaffen werden. Auch bei einer Erweiterung der Antibiotika-Datenbank zu einer Tierarzneimittel-Datenbank müsste ein politischer Wille vorhanden sein, der nicht nur Wert auf die Lebensmittelsicherheit legt, sondern auch dem Umweltschutz eine gesetzliche Grundlage für die Aufnahme von Verbrauchsdaten und die Auswertung der Abgabe- und Verbrauchsdaten von Antiparasitika, Schmerzmitteln, hormonellen Stoffen und Narkotika einräumt. Dazu kann von der bestehenden Dokumentationspflicht von Landwirten und Tierärzten Gebrauch gemacht werden. Vorschriften im Bereich des Datenschutzes sollten dahingehend überdacht werden, dass eine anonymisierte Weitergabe von Daten an Behörden und Wissenschaftler nicht wie derzeit nur beschränkt möglich ist. Mit der Ausgestaltung eines White Papers sollte ein Fachgremium beauftragt werden, das unter One-Health-Gesichtspunkten zusammengesetzt ist.

4 Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit

*Yvonne Ilg, Julia Steinhoff-Wagner, Brigitte Petersen,
Focus Gruppe One-Health,
FoodNetCenter der Universität Bonn*

Maßnahmenüberblick:

4.3	Maßnahme: Reduktion des Keimdrucks	73
4.4	Maßnahme: Risikoorientiertes Gesundheitsmanagement	75
4.5	Maßnahme: Produktionsbegleitende Monitoringverfahren	77
4.6	Maßnahme: Artgerechte Haltungsbedingungen	78
4.7	Maßnahme: Stärkung des Immunsystems	81
4.8	Maßnahme: Bedarfsgerechte Fütterung	82

4.1 Problemstellung

Durch ein gut koordiniertes überbetriebliches präventives Gesundheitsmanagement und eine auf die jeweilige Tierart und den Produktionsabschnitt abgestimmte Verfahrenstechnik und Fütterung kann viel für die Gesunderhaltung der Tiere getan werden. Diesen entscheidenden Hebeln zur Reduktion des Einsatzes von Tierarzneimitteln wird bei der derzeit geführten Diskussion um effektive Maßnahmen noch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Sowohl der Ausbruch enzootischer Krankheiten als auch häufige Faktorenerkrankungen verursachen enorme Kosten für die Fleisch- und Milchwirtschaft (Boklund et al., 2004, Nagel-Alne et al., 2014). Vorbeugende Maßnahmen lohnen sich daher insbesondere aus ökonomischer Sicht (Bätza, 2014). Eine Optimierung im Haltungsmanagement und Maßnahmen zur Verhinderung der betriebs- und produktionsstufenübergreifenden Ausbreitung und Verschleppung von Krankheiten verursachen zunächst hohe Investitionskosten (z.B. Investitionskosten für Gebäudemodernisierungen oder überbetriebliche Informations- und Kommunikationssysteme) und Personalaufwand. Selbst eine aufwändige Bestandssanierung lohnt sich jedoch nach langen Laufzeiten auch finanziell, beispielsweise wenn durch eine reduzierte Inzidenz und Prävalenz für bestimmte Erkrankungen oder resistente Erreger Verlusten und Qualitätseinbußen bei Milch und Fleisch wirkungsvoll verhindert werden können (Nagel-Alne et al., 2014, Schmithausen et al., 2015a, Schmithausen et al., 2015b). Neben den direkten Einsparungen, wie beispielsweise verringerter Einsatz von Tierarzneimitteln und weniger Tierverluste, wird durch eine Reduktion der Krankheitsausbrüche die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe verbessert. So erleichtert beispielsweise die nachgewiesene Freiheit von bestimmten Pathogenen und Antikörpern den Handel. Auf der anderen Seite wird beispielsweise ein Salmonellennachweis bei Schweinen von Schlachthöfen sanktioniert, wodurch der Gewinn verringert wird (Mergenthaler & Boelhauve, 2015).

Als Ergebnis von Pilotprojekten wird eine Vielzahl von Maßnahmen vorgeschlagen, die zur Gesunderhaltung der Tiere beitragen. Die Maßnahmen sind auf Betriebsebene in der Regel mit zusätzlichem Arbeits- und Kostenaufwand verbunden, welche in die Entscheidung des Landwirts für oder gegen bestimmte Maßnahmen einfließen. Um eine korrekte, zielführende und sinnvolle Anwendung von Maßnahmen zu gewährleisten, müssen daher nicht nur die Tierhalter, sondern auch die Tierärzte und Berater von der Wirksamkeit der Maßnahme überzeugt sein. Hier wird von tierärztlicher Seite das Konzept der integrierten tierärztlichen Bestandsbetreuung empfohlen. Der Hoftierarzt fungiert als Berater zum Gesundheitsmanagement für den Tierhalter und wird nicht nur zur Behandlung klinisch kranker Tiere hinzugezogen. Positive Erfahrungen wurden aus der Rinder-, Schweine- und Geflügelpraxis berichtet. Auch wenn dies kein neues Konzept ist, scheitert die Umsetzung häufig daran, dass die Beratung zeitaufwändig und mit zusätzlichen Kosten verbunden ist (Mansfeld & Metzner, 1992, Kluthe & Groeneveld, 2014). Weiterhin ist die Teamberatung von Dienstleistern zu stärken (Petersen et al. 2010). Hierzu gehört die Förderung spezieller Serviceangebote von Erzeugergemeinschaften und Viehvermarktern bei der Koordination von Audits, Laboruntersuchungen und bei der Zertifizierung des Gesundheitsstatus von tierhaltenden Betrieben im Rahmen eines stufenübergreifenden Gesundheitsmanagementsystems. Externe Berater von Erzeugerorganisationen haben den Vorteil, dass sie nicht an dem Verkauf von Tierarzneimitteln oder Futtermittelzusatzstoffen verdienen. Zudem können sie gegebenenfalls der Betriebsblindheit von Landwirt und Bestandstierarzt entgegen wirken und neue Ideen und Managementstrategien für Problembetriebe mit einbringen. Hierzu gibt es umfassendere transdisziplinäre Konzepte und Ansätze, die auch die Bereiche Fütterung, Haltung, Hygiene und Management in einem Teamberatungsansatz involvieren. Hierbei wird berücksichtigt, dass es sich bei einem Krankheitsgeschehen der Tierbestände in der Regel um ein multifaktorielles Gesundheitsproblem handelt (Ellebrecht, 2008, Ellebrecht, 2012, Schütz, 2009, Klauke, 2012, Düsseldorf, 2013, Schulze-Geisthövel, 2015).

Fasst man alle Erfahrungsberichte zusammen, ergeben sich daraus 10 Punkte, die zur Gesunderhaltung von Tieren wichtig sind (Petersen et al. 2007):

1. Unterbrechung von Infektionsketten
2. Vermeidung der Einschleppung von Krankheiten
3. Bekämpfung von Vektoren für Infektionskrankheiten
4. Verbesserung der spezifischen Immunität
5. Identifikation und Reduzierung der Risiken von subklinischen Infektionen
6. Identifikation und Reduzierung der Risiken von Technopathien (s. Glossar)
7. Identifikation und Reduzierung von Ekto- und Endoparasiten
8. Untersuchung vorhandener bakterieller Erreger/der Wirksamkeit von Antibiotika
9. Identifikation und Reduzierung der Risiken durch das Stallklima
10. Identifikation und Reduzierung der Risiken durch Fütterungsfehler

Dieses Kapitel führt im Folgenden exemplarisch erfolgreiche Ansätze zur Förderung des Gesundheitszustandes der Tiere in den Bereichen Hygiene, Management, überbetriebliches Gesundheitsmonitoring sowie Gestaltung von Ställen und Fütterung auf.

4.2 Getroffene Annahmen

Für die meisten Maßnahmen ist zwar eine Wirksamkeit in Bezug auf die Verbesserung der Bestandsgesundheit und die Reduktion von Erkrankungen nachgewiesen, konkrete Angaben zu direkten Einsparungen von Tierarzneimitteln fehlen allerdings. Für die entwickelten Maßnahmen wird die Annahme getroffen, dass eine Reduktion der Zahl der erkrankten Tiere bzw. eine Verkürzung der Krankheitsdauer auch eine Reduktion des Tierarzneimittelsatzes bedingt. Denn die Einsparung von Tierarzneimitteln wird heute als eine wettbewerbsentscheidende Zielgröße von gut geführten tierhaltenden Betrieben angestrebt.

4.3 Maßnahme: Reduktion des Keimdrucks

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Unter dem Begriff Hygiene werden vorbeugende Maßnahmen zur Gesunderhaltung und Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Tiere zusammengefasst. Reinigung und Desinfektion als prophylaktische Maßnahmen sind in der Tierhaltung sehr bedeutend, da im Hinblick auf Infektionserkrankungen der Infektionsdruck und die Verschleppung von Erregern die Tiergesundheit beeinflussen (Dohmen et al., 2010, Madec, 2013). So besteht beispielsweise in der Rinder- und Milchviehhaltung ein starker Zusammenhang zwischen hygienischen Bedingungen und dem Auftreten von Eutererkrankungen, Lahmheit sowie Gastroenteritis (Madec, 2013). Bei Schweinen ist schlechte Hygiene mit einer hohen Rate von Atemwegserkrankungen und Gastroenteritis assoziiert. Nach der ausreichenden Versorgung mit Kolostrum ist bei Ferkeln Hygiene der wichtigste Aspekt bei der Krankheitsvermeidung. Weiterhin ist bei Schweinen das Risiko für Harnwegsinfekte bei schlechter Bodenhygiene erhöht. Auch Salmonellen können bereits nach kurzem Kontakt mit entsprechend infizierten Böden auf das Tier übertragen werden (Madec, 2013). Adäquate Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen von allen Tierkontaktoberflächen reduzieren die Zahl der Mikroorganismen und die Übertragung von Pathogenen. Daneben sind viele weitere Hygieneaspekte geeignet, um den Keimdruck in den Ställen zu reduzieren. Auch die Verschleppung von resistenten Mikroorganismen wie MRSA und ESBL-E von einem Tierbestand zum anderen kann auf der Grundlage entsprechender Hygienemaßnahmen wirkungsvoll verhindert werden (Schmithausen et

al., 2015b). Die folgenden Aspekte sollten daher in regelmäßige Hygienepläne der Betriebe bzw. in Monitoringprogramme integriert werden (Madec, 2013, Bos et al., 2012):

- ▶ regelmäßige Reinigung und Desinfektion der Tierkontaktoberflächen – auch aller Gerätschaften und Transportmittel mit Tierkontakt (z.B. durch trocken schrubben und abflammen, Wasserdampfreinigung),
- ▶ Schulungen und Sachkundenachweis zum fachkundigen Umgang mit Reinigungs- und Desinfektionsmitteln,
- ▶ Sicherstellung der Prozesshygiene (Geburtshilfe, Melkhygiene),
- ▶ häufige Beseitigung von Harn und Kot, vor allem im Liegebereich der Tiere,
- ▶ tote Tiere konsequent in Kadaverbehälter entfernen und ggf. zur Entsorgung verwendete Gerätschaften desinfizieren,
- ▶ Belegung der Ställe und Stallabteile nach dem „Rein-Raus-Verfahren“,
- ▶ planmäßige Schädner- und Fliegenbekämpfung (inkl. Erfolgskontrolle),
- ▶ Fütterungshygiene (Futterlagerung, Tröge, Tränkeeinrichtung, etc.),
- ▶ Umkleideraum mit Waschmöglichkeiten für Arbeitskräfte,
- ▶ Schutz des Bestands vor betriebsfremden Personen, d.h. Zugang nur wenn notwendig gewähren, Verwendung von Schutzkleidung, Haarnetzen und Schuhen, Händedesinfektion,
- ▶ Bezug von Jungtieren aus nur wenigen Quellen mit bekanntem Gesundheitsstatus, da so das Erregerreservoir möglichst gering gehalten wird (Boklund et al., 2004),
- ▶ Tägliche Kontrolle des Gesundheitszustandes der Tiere durch den Tierhalter, ergänzt durch systematische, überbetriebliche Monitoringverfahren (Klauke, 2012, Düsseldorf, 2013, Schmithausen et al., 2015b),
- ▶ Bei Ausscheidern und Trägern von Pathogenen: Umstallung nicht infizierter und gesunder Tiere in gereinigte und desinfizierte Ställe (u.a. Dahl et al., 1997, Madec, 2013); MRSA- und ESBL-Monitoring als Indikatoren für endemischen und enzootischen Hospitalismus nutzen; ggf. auch Dekolonisation humaner Träger⁶, da nur so eine erneute Ansteckung der Herde über das Personal verhindert werden kann (Boelhave, 2015, Schmithausen et al., 2015b),
- ▶ Bestandssanierung bei enzootischem oder endemischem Hospitalismus.

Einerseits sind Reinigung und Desinfektion für landwirtschaftliche Betriebe unerlässlich und absolut notwendig. Auf der anderen Seite bedeutet die Verwendung von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln auch immer einen Eintrag unerwünschter Substanzen in die Umwelt. Rückstände auf Tierkontaktoberflächen wie beispielsweise Tränken, Gatter oder Böden können zudem durch die Tiere aufgenommen werden und dadurch in den Nahrungskreislauf gelangen. Wie hoch die Mengen sind und ob es hierdurch zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann, sollte in Untersuchungen überprüft werden. Obwohl die Verwendung von Bioziden in der „Biozid-Verordnung“ (EU) No. 528/2012 streng geregelt ist, kommt es in der Praxis aufgrund fehlenden Wissens häufig zu Fehlern bei der Anwendung. Welche Folgen eine unsachgemäße Verwendung auf die Gesundheit und die Umwelt hat, ist dem Anwender oftmals unbekannt. Der Eintrag von biozidalen Desinfektionsmitteln über das Abwasser und die Gülle in die Umwelt ist zudem mit dem Risiko der Resistenzentwicklung verbunden. Unter Verdacht stehen hier beispielsweise Ammoniumverbindungen wie Benzalkoniumchlorid. Der richtige Umgang mit Reinigungs- und Desinfektionsmitteln fordert daher ein gutes Hintergrundwissen und Kenntnisse über konkrete Verschmutzungen sowie Keimbelastungen. Ziel der Anwendung sollte sein, den Wirkstoffeinsatz so gering wie möglich, aber so hoch wie nötig zu gestalten.

⁶ Dekolonisation kann beispielsweise durch Spülungen oder durch Gabe einer Konkurrenzflora erfolgen

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Eine bessere Hygiene kann die Entstehung und/oder Ausbreitung bestimmter Krankheiten effektiv verringern. Insbesondere die Tier- und Personalhygiene sind von herausragender Bedeutung für die Tiergesundheit, aber auch die grundsätzlichen hygienischen Bedingungen des Betriebs (Gradel & Rattenborg, 2003, Dohmen et al., 2010). Mithilfe von auf die Zielgruppen Tierhalter, Berater und Bestandstierärzte abgestimmten Hygieneberatungen und Schulungen konnten in Forschungsprojekten die Leistungen der Tiere und die Tiergesundheit verbessert werden (Petersen et al. 2014, Boelhauve, 2015). Bei Milchkühen lässt sich durch eine optimierte Hygiene beim Melkvorgang die Zellzahl in der Milch nachweislich reduzieren, was ein Hinweis für die Senkung des Mastitisrisikos ist. Eine unzureichende Hygiene geht häufig mit steigenden Medikamentengaben einher. Besonders auffällig ist dieser Zusammenhang bei Diarrhö (Rantzer et al., 1998, Hornig, 2014). In der Schweineproduktion verbesserten sich die täglichen Zunahmen und die Futtermittelverwertung von Masttieren, wenn die Mäster bei der Auswahl geeigneter Ferkellieferanten mit einem geprüften Gesundheitsstatus der Betriebe geschult waren (Düsseldorf, 2013).

Insgesamt lässt sich somit durch eine Verringerung der Ansteckungsgefahr und Eingrenzung der Krankheitsausbreitung der Verbrauch an Tierarzneimitteln reduzieren, und damit auch ein Eintrag umweltrelevanter Wirkstoffe über die Gülle in Boden und Wasser.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Eine Verbesserung des Gesundheitsstatus eines Betriebs durch ein Bündel von Hygienemaßnahmen ist vor allem dort zu erwarten, wo die hygienischen Bedingungen im Betrieb vor Anwendung der Maßnahmen noch nicht optimal waren. Je nach Ausgangslage und Betriebsgröße kann das entsprechende Einsparungspotential an umweltrelevanten Tierarzneimitteln sehr hoch sein. Reinigungs-, Desinfektions-, und Quarantänemaßnahmen erfordern gleichzeitige Investitionen in gezielte Vorsorgeuntersuchungen und spezielle Beratungs- und Schulungsprogramme. Kontrovers wird dabei der Sachkundenachweis im Umgang mit Reinigungs- und Desinfektionsmitteln als Ergebnis spezifischer Schulungsmaßnahmen bei Landwirten und Betriebsberatern diskutiert. Entscheidend ist zudem, wie gut die Maßnahmen umgesetzt werden. Hierfür sind auf die Gesundheitsprobleme in den unterschiedlichen Sektoren ausgerichtete Schulungen durch Berater und Tierärzte nötig. Diese sollten auch immer betriebswirtschaftliche Aspekte berücksichtigen, um beispielsweise Möglichkeiten zum Ausgleich der Mehraufwendungen aufzuzeigen. Zudem muss die Bereitschaft zur Optimierung der Hygiene von den Landwirten selbst kommen, da nur so die konsequente Umsetzung der Maßnahmen zu erwarten ist.

4.4 Maßnahme: Risikoorientiertes Gesundheitsmanagement

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Die Qualität des Gesundheitsmanagements und der Umgang mit erkrankten Tieren beeinflussen den Gesundheitsstatus der Herde aber auch die Sicherheit ganzer Wertschöpfungsketten für tierische Produkte ganz entscheidend. In einigen EU-Ländern, wie beispielsweise in Dänemark oder in den Niederlanden, wird die Koordination von überbetrieblichen Gesundheitsmanagement-Maßnahmen bereits seit Jahren als eine gemeinsame Public-Private-Partnership (PPP) Aufgabe angegangen. Hier wurde die Reduktion von Tierarzneimitteln aus umweltpolitischer Sicht bereits wesentlich früher thematisiert.

In Dänemark schafft das SPF (Specific Pathogen Free) System in der Schweinehaltung Transparenz und garantiert ein hohes externes und internes Sicherheitslevel, wobei Sicherheit hier alle

Bestrebungen zur Vermeidung des Erregereintrags in den Betrieb beinhaltet. Zu den Maßnahmen zählen unter anderem Vorkehrungen zum Schutz vor externen Erregern (u.a. Hygieneschleusen für Personen und Fahrzeuge inkl. Einhaltung von Wartezeiten nach Kontakt zu Risikobereichen oder anderen Betrieben, Schulungen des Personals, spezielle Transporter) Gesundheitsinspektionen (regelmäßige Blutentnahmen) und die Deklaration des Gesundheitszustands jeder Herde (Jensen 2013, 2015). Die Deklaration des Gesundheitsstatus erfolgt durch Auflistung der Erkrankungen hinter dem SPF Label. Hierdurch wird Transparenz geschaffen und ein Käufer kann sich beim Schweinekauf nach dem Gesundheitsstatus des eigenen Bestands richten. So wird der Eintrag weiterer Erreger vermieden. Der Einsatz des SPF Systems konnte die Krankheitsausbreitung durchschnittlich um das Siebenfache verringern⁷. Eine solche überbetriebliche Vorgehensweise trägt, kombiniert mit weiteren, ebenso zur Reduktion des Tierarzneimitelesatzes bei.

Tauchen spezifische Gesundheitsprobleme auf, beschleunigen entsprechende PPP-Strukturen die Sanierung von Beständen und motivieren Wirtschaft und staatliche Einrichtungen gleichermaßen, Verantwortung zu übernehmen. Hier ist die Zusammenarbeit von Veterinärbehörden, Tierseuchenkassen und privatwirtschaftlichen Organisationen notwendig und zielführend. Ein Beispiel hierfür ist die 2006 in Deutschland gestartete Initiative zum „Aufbau von Allianzen für Informations- und Dienstleistungs-Agenturen“ (AIDA). Die Initiative zur Verbesserung von Qualitäts-, Gesundheits- und Risikomanagement in Fleisch erzeugenden Ketten (Schwein, Rind) wurde in der Startphase aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) und 11 genossenschaftliche Erzeugergemeinschaften gefördert (Petersen et al. 2010). Auch andere Autoren berichten über Erfolge im risikoorientierten Gesundheitsmanagement bei anderen Tierarten (Ziegen, Geflügel) aufgrund konzertierter Aktionen staatlicher und privater Akteure (Nagel-Alne et al. 2014).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Maßnahmen zielen darauf ab, die Tiere vor Infektionen zu schützen, vorhandene Krankheiten schnell zu erkennen und ggf. Maßnahmen zum Schutz noch nicht infizierter Tiere zu ergreifen. Hierdurch sollen die Infektionsraten möglichst gering gehalten werden und dadurch auch der Einsatz von Tierarzneimitteln reduziert werden.

In Betrieben mit einem strukturierten und systematischen Gesundheitsmanagement wurde beobachtet, dass vor allem weniger Antibiotika eingesetzt werden (Düsseldorf 2013, Schmithausen 2015).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Auch ein optimales einzel- und überbetriebliches Managementsystem kann keinen vollständigen Schutz vor Neuinfektionen bieten. Es erlaubt in der Regel jedoch schnelles Handeln und kann dadurch ggf. die Krankheitsausbreitung eindämmen. Die Entwicklung und Umsetzung der Managementsysteme ist jedoch personal- und kostenintensiv, wodurch sie häufig nur durch Landes- und Bundesprogramme zur Förderung der Entwicklung umweltverträglicher und standortgerechter Landwirtschaft angestoßen wurden und durch diese Programme auch weiterentwickelt werden sollten.

⁷ Infektionsrate der Herde ohne SPF: 4,1% gegenüber 5,8% mit SPF (Jensen 2015).

4.5 Maßnahme: Produktionsbegleitende Monitoringverfahren

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Strukturierte und regelmäßige Monitoring- und Beratungssysteme helfen bei der Früherkennung potentieller Infektionsgefahren, der Differenzialdiagnostik bei Erkrankungen und unspezifischen Symptomen sowie bei der Definition des Gesundheitsstatus. Trotz des Problems des häufigen Einsatzes von Antibiotika in bestimmten Risikozeiten für die Gesundheit der Tiere (Umstallung, Zukauf von Tieren aus mehreren Herkunftsorten u.ä.), werden resistente Mikroorganismen bei herkömmlichen Monitoringsystemen bis dato noch nicht erfasst. Dabei stellen gerade resistente Keime eine besondere Gefahr für den Tierbestand dar, da insbesondere die Behandlung von Durchfall- und Atemwegserkrankungen durch die Resistenzen stark erschwert wird. MRSA und ESBL-E gelten bei Antibiotogrammen als Indikatorkeime für Schmierinfektionen und für über die Luft übertragbare Erreger (Schmithausen 2015). Zum Monitoring können beispielsweise Nasen- und Analabstriche sowie Luftproben genommen werden. Für die Bestimmung von ESBL-E gibt es spezifische Schnelltests (β Lacta test), die sich für ein Monitoringprogramm eignen. Positive Befunde leiten dann umfangreiche Hygiene- und Sanierungsmaßnahmen ein. Schmithausen (2015) beschreibt hierzu eine Kombination von Monitoring- und Sanierungsmaßnahmen, um altersgruppenspezifisch und unter Berücksichtigung der Tierkontaktpersonen die Auftretenswahrscheinlichkeit von MRSA und ESBL-E bei Schweinen zu reduzieren.

Auch Mergenthaler & Boelhauve (2015) schlagen vor, aussagekräftige Gesundheitsscreenings und spezifische Beratungspakete in der Bestandsbetreuung schweinehaltender Betriebe zu kombinieren. Hier dient – wie auch bei der vor einigen Jahren aufgebauten Tiergesundheitsagentur e.G. TIGA (Petersen et al. 2010) – eine Datenbank als Instrument für die Tiergesundheitsberatung durch den Tierarzt und durch landwirtschaftliche Berater. Die Bündlerorganisationen, über die sehr häufig die Meldungen zum Antibiotikaverbrauch an die QS-Datenbank VetProof® erfolgt, haben gleichzeitig i.d.R. auch Daten zu den Monitoringergebnissen und zum Gesundheitsstatus ihrer Mitgliedsbetriebe und nutzen diese Informationen in der gezielten Beratung ihrer Betriebe (siehe auch Maßnahme 3.5).

In der Milcherzeugung werden – ebenso wie in der Fleischwirtschaft – in Kooperation von landwirtschaftlichen Betrieben, Beratungsorganisationen und Molkereien bestehende Monitoringsysteme erweitert. Beispielsweise beschreiben Green et al. (2007) ein betriebspezifisches Mastitis Diagnose- und Kontrollprogramm, durch das die Mastitisrate in hochbelasteten Herden um 20 % reduziert werden konnte. Hierbei wurde in einem ersten Schritt die Herde durch bakteriologische Untersuchungen kategorisiert. Aufbauend auf bereits durchgeführte Maßnahmen im Betrieb wurden diese – entsprechend den Ergebnissen der bakteriologischen Untersuchung – in einem strukturierten Prozess um 10-20 weitere Maßnahmen erweitert (u.A. Maßnahmen zur Verbesserung der Melkanlagenhygiene, Zitzenvorbereitung und Zitzendesinfektion nach dem Melken, Umgang mit infizierten Kühen und zur Mastitisfrüherkennung). Ein Kernpunkt bei der Studie war dabei die Zuordnung der Maßnahmen in die Kategorien „kann“, „sollte“ und „muss“, um den Landwirten die Bedeutung der Maßnahmen zu verdeutlichen.

Ein weiteres häufig beschriebenes Instrument zur Bestandsdiagnostik ist die Einsendung verendeter Tiere zur Sektion und Differentialdiagnostik. Derzeit wird allerdings der Rückgang von Einsendungen verendeter Tiere an Tiergesundheitsdienste beklagt, seit dem die Untersuchungen nicht mehr kostenlos für die Landwirte angeboten werden. Eine andere Ursache könnten Ängste vor Reglementierungen bis hin zur Bestandsschließung sein, wenn die Diagnose anzeige- oder meldepflichtige Erkrankungen oder tierschutzrelevante Sachverhalte zu Tage bringt.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimiteleinträge in die Umwelt

Eine frühe Identifikation von Gesundheitsgefahren in Betrieben erlaubt frühes Handeln, wodurch ggf. vor einem Krankheitsausbruch geschützt werden kann. Zudem können durch Monitoringsysteme und Programme systemische Risiken und Schwachstellen eher aufgedeckt, d.h. für Landwirte und Tierärzte sichtbar gemacht und gezielt Maßnahmen dagegen ergriffen werden. Hierdurch ist eine Schärfung des Bewusstseins für die eigentlichen biotischen und abiotischen Risikofaktoren sowie eine bessere Einsicht zur Senkung des unreflektierten Tierarzneimittelverbrauchs zu erwarten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Monitoringsysteme und regelmäßige Schwachstellenanalysen mit Unterstützung der Beratung können nicht alle potentiellen Erkrankungsursachen aufdecken. Zudem sind Monitoringsysteme in der Regel mit hohem personellen und organisatorischen Aufwand verbunden, für den es bislang noch keine zufriedenstellende Finanzierung gibt. Lediglich der organisatorische Aufwand ließ sich in den letzten Jahren dadurch minimieren, dass über Anschubfinanzierungen entsprechende Datenbanksysteme aufgebaut worden sind. Diese können von Tierhaltern bundesweit genutzt werden, um Monitoringdaten zu sammeln, analysieren zu lassen und den Gesundheitsstatus des Betriebes für Dritte (z.B. Kunden oder Dienstleister wie Berater, Tierärzte) sichtbar zu machen. Alle Datenbanken sind privatwirtschaftlich organisiert und für die Tierhalter gebührenpflichtig und damit mit erheblichen Kosten verbunden. Das Gleiche gilt für die Monitoringuntersuchungen vor Ort, die nach wie vor mit hohen Material- und Personalkosten verbunden sind.

4.6 Maßnahme: Artgerechte Haltungsbedingungen

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Insgesamt geht der Trend in der modernen Tierproduktion hin zu einer artgerechteren Haltung und zu einem besseren Tierschutz, was den Gesundheitsstatus und das Wohlbefinden der Tiere positiv beeinflusst. Dies wird beispielsweise durch die „Initiative Tierwohl“ deutlich, an der sich 85 % der Handelsunternehmen beteiligen. Eine Reihe konkreter Maßnahmen, die Umgebung der Tiere artgerechter zu gestalten, werden inzwischen in Anforderungskatalogen von Marktpartnern innerhalb der Wertschöpfungskette wie Unternehmen der ersten und zweiten Verarbeitungsstufe sowie des Lebensmitteleinzelhandels beschrieben und aufgelistet (Initiative Tierwohl 2015).

Zahlreiche Studien belegen den gesundheitsfördernden Effekt einer artgerechteren Haltung. Die Einrichtung von Funktionsbereichen im Stall und Stroheinstreu zeigte positive Auswirkungen auf den Gesundheitsstatus und das Wohlbefinden von Schweinen im Vergleich zu traditioneller Haltung auf Spaltenboden (Cagienard et al. 2005). Laut dem Wissenschaftlichen Beirat für Agrarpolitik (WBA 2015) besteht Handlungsbedarf hin zu mehr Tierwohl in der Nutztierhaltung. Dazu werden seitens des WBA eine Reihe von Maßnahmen vorgeschlagen, die allerdings von den meisten Interessensgruppen der Sektoren Schwein, Geflügel und Rind unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten als nicht umsetzbar kritisiert werden.

Auch von Seiten der Wissenschaft gibt es keine einheitlichen Definitionen artgerechter Tierhaltung. Zum Teil existieren widersprüchliche Ergebnisse in Untersuchungen zur Auswirkung von Herdengröße und Alterszusammensetzung in Beständen auf besondere Erkrankungen und ihre Auftretenswahrscheinlichkeit (Hybschmann et al. 2011, Reski-Weide 2013). Herdengröße und Betriebsmanagement stehen als Einflussgrößen auf die Tiergesundheit miteinander in enger Beziehung (Klauke 2012, Düsseldorf 2013). Je größer die Betriebe sind, umso entscheidender ist ein fachkundiges und systematisches Gesundheitsmanagement, da hohe Tierverluste und lange

Erkrankungsphasen sehr rasch diese Betriebe vor wirtschaftliche Probleme stellen können. Oft bestehen allerdings auch Konflikte zwischen Arbeits- und Produktionsabläufen in den Betrieben einerseits und Ansprüchen des Tierschutzes bei Tieren in den unterschiedlichen Produktionsabschnitten andererseits. Auch wenn Kälber, die in Einzelhaltung untergebracht sind, im Vergleich zur Haltung in der Gruppenbucht ein reduziertes Risiko an Pneumonie und Durchfall zu erkranken haben (Reski-Weide 2013, Kunz 2015), ist dieser Ansatz aus Tierschutzgründen nicht zu empfehlen und für Kälber ab dem 14. Lebenstag nicht mehr zugelassen. Eine Unterbrechung der Infektionskette unter tierschutzgerechten Bedingungen kann durch die bedarfsgerechte Gabe von Kolostrum und durch Anpassungen in der Hygiene sowie im Management erreicht werden.

Der tägliche Zugang zum Außenbereich zeigt positive Auswirkungen auf den Gesundheitsstatus und das Wohlbefinden von Tieren (Cagienard et al. 2005). So fördert Weidehaltung beispielsweise die Widerstandskraft der Tiere (Ullrich et al. 2006). Der Zugang zum Außenbereich birgt neben vielen Vorteilen für die Tiere jedoch zusätzliche Risiken für die Tiergesundheit. Bautechnische Anpassungen der Gehege können dieses Risiko verringern. Für den Geflügelbereich umfassen solche Maßnahmen die Abdeckung des Geheges mit Plastikblache, das Abtragen und Ersetzen des Erdreichs mit Gräser-Einsaat oder Rollrasen, das Anlegen von Strukturen in Ausläufen (Bereiche zum Scharren, Koten etc.), die Stärkung übermäßig genutzter Bezirke beispielsweise mit Drahtgitter, Schotter oder Kies (zur Gesunderhaltung der Fußballen) und das Anlegen von Wechselläufen (sodass sich das Gras erholen kann) (Hoop, 2009). Die Bodenbeschaffenheit und die Anlage von Funktionsbereichen (Fress-, Liege- bzw. Ruhebereich und Bereiche zum Koten und Harnen) spielen auch in schweinehaltenden Betrieben eine bedeutende Rolle (Dt. Tierschutzbund 2011).

Sowohl in der Ferkelaufzucht, als auch in der Milchkuhhaltung hat der Aufenthalt im Außenklimastall tendenziell positive Auswirkungen auf die Konstitution der Tiere (Hornauer et al. 2001, Meyer 2003, O'Driscoll et al. 2009). Wichtig ist jedoch ein geeigneter Schutz bei Unwetter und eine ausreichende Belüftung bei geschlossenen Vorhängen (Curtains) (Macuhová et al. 2008).

In der Rinderhaltung wirkt sich regelmäßige Bewegung sowie die rutschfeste Gestaltung der Laufflächen positiv auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere aus (Regula et al. 2004). Boxenlaufställe verringern im Vergleich zu Anbindeställen die Häufigkeit von klinischer Mastitis (Hultgren 2002, Regula et al. 2004). Bei Tieren auf Vollspaltböden fand man hingegen weniger parasitäre Erkrankungen, die zu Veränderungen von Lunge und Leber führen (Hesse & Gollnisch 2001). Zudem birgt ein Gummi-Bodenbelag Vorteile für Kühe (Telezhenko & Bergsten 2005, Haufe et al. 2009). Die Kühe finden auf dem Boden besseren Halt und bewegen sich dadurch mehr. Zudem wird die Verletzungsgefahr verringert. Hultgren und Bergsten (2001) zeigen, dass Gummispaltböden die Klauengesundheit im Vergleich zu konventionellen Spaltböden verbessern. Aufgrund vermehrten Roboter melkens und/oder hoher Leistung der Kühe, stellen Landwirte aus arbeitswirtschaftlichen und fütterungstechnischen Gründen die Weidehaltung z.T. ganz ein. Einhergehend mit ganzjähriger Stallhaltung entstehen oft vermehrt Klauenprobleme, was wiederum einen hohen Einsatz von Tierarzneimitteln nach sich ziehen kann. Die ganzjährige Stallhaltung der Milchkuhe hat also aus Sicht der Tiergesundheit und des Tierschutzes unübersehbare Nachteile.

In vielen neuen Ställen wird auf den teuren Güllekeller verzichtet und stattdessen planbefestigt gebaut. Dies kann bei gleichzeitiger Einhaltung guter Hygiene einen Vorteil darstellen, da hierdurch eine bessere Trittsicherheit für die Tiere und weniger Stillbrünstigkeit hervorgerufen wird.

Hinsichtlich der Lüftung von konventionellen Warmställen empfehlen Stallbautechniker vor allem die Systeme „Porendecke“ und „Futterganglüftung“. Die Zuluftpunkte sollten an der Nord- (eher kühl) und Südseite (eher warm) liegen, um je nach Witterungsverhältnissen eine gute Belüftung zu gewährleisten. Dabei gilt es, optimale Temperaturbereiche möglichst konstant zu halten, wobei der Optimalbereich je nach Alter und Gewicht der Tiere variiert (Ferkel, Küken brauchen höhere Temperaturen als Masttiere) (Mösenbacher-Molterer et al. 2014). Auch die Toleranz gegenüber

Schadgasen und Luftkeimen ist bei Jungtieren besonders niedrig. Aber auch bei älteren Schweinen, Rinder und Geflügel begünstigen Schadgase und Luftkeime Atemwegserkrankungen, sodass deren Gehalt in der Luft durch auf Wachstum und Witterung abgestimmte Stallklimaführungen möglichst gering zu halten ist.

Eine Reihe von Untersuchungen belegen, dass eine niedrige Belegdichte sich positiv auf die Tiergesundheit auswirkt (Berns 1996). In ökologischen Betrieben und innerhalb von Tierschutzstandards (z.B. Tierschutzlabel, Better Leven) wird eine Erhöhung des Platzangebots vorgeschrieben. Auch in konventionellen Betrieben gewinnt die tiergerechtere und nachhaltigere Fleischerzeugung an Bedeutung. So ist 2015 in Deutschland die „Initiative Tierwohl“ für die Schweine- und Geflügelproduktion gestartet. Finanziert wird die Initiative durch teilnehmende Handelsunternehmen, die pro verkauftem Kilo Fleisch und Wurstwaren aus Schwein und Geflügel 4 Cent auf ein Tierwohl-Konto einzahlen. Aus diesen Mitteln erhalten teilnehmende Schweine- und Geflügelhalter Zuschüsse, wenn sie bestimmte Tierwohlkriterien erfüllen. Hierdurch wird ein Anreizsystem für die Umsetzung tierfreundlicherer Haltung geschaffen. Für den Schweinebereich zählen beispielsweise die Durchführung jährlicher Stallklima- und Tränkewasserchecks durch Experten sowie Tageslichteinfall zu den Grundanforderungen. Ein erhöhtes Platzangebot, Buchtenstrukturierung und zusätzliches organisches Beschäftigungsmaterial sind Wahlpflichtkriterien, durch deren Erfüllung der Landwirt höhere Zuschüsse erhält. Im Geflügelbereich zählen die Teilnahme an Fortbildungen und Maßnahmen zur Erhöhung der Fußballengesundheit zu den Grundanforderungen. Zusätzlich müssen Betriebe die beiden Wahlpflichtkriterien – höheres Platzangebot und das Angebot zusätzlichen Beschäftigungsmaterials – erfüllen (Initiative Tierwohl, 2015). Inwieweit unterschiedliche Verbrauchergruppen bereit sind, den Tierhaltern den unausweichlichen Mehraufwand für eine extensivere Tierhaltung zu honorieren, bleibt abzuwarten. Auch hier sind die empirischen Untersuchungen der letzten Jahre sehr widersprüchlich.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Verbesserte Haltungsbedingungen reduzieren die Anzahl von Stressoren für die Tiere und stärken deren Widerstandskraft gegen Infektionen. Dies bedingt wiederum weniger behandlungswürdige Erkrankungen und damit einen verringerten Einsatz von Tierarzneimitteln. So stellten Bos et al. (2012) beispielsweise fest, dass eine artgerechte Kälberaufzucht zu einem verringerten Tierarzneimittelverbrauch führt. Ebenso kann die Zahl der gastrointestinalen Infektionskrankheiten, die zu den häufigsten Gründen für eine Antibiotikagabe zählen, durch Optimierung der Haltungsbedingungen reduziert werden (Hybschmann et al. 2011). Ähnliche Vergleiche zwischen optimalen und suboptimalen Haltungsbedingungen, das Stallklima und die Belegdichte in Ställen betreffend, zeigen Berns (1996), Gymnich (2001) und Düsseldorf (2013). Sie stellen fest, dass sich diese Risikofaktoren im Umfeld der Tiere nicht nur auf die Prävalenz von Atemwegserkrankungen, sondern auch auf die Behandlungshäufigkeit mit Antibiotika auswirken.

Bauliche Maßnahmen, die einerseits den Keimdruck verringern, andererseits durch Verbesserung des Bodenbelags die Klauengesundheit der Tiere verbessern sowie Verletzungsgefahren verringern, können zu einer Senkung der Erkrankungsrate beitragen. Hierdurch ist ein verringerter Einsatz von umweltrelevanten Tierarzneimitteln zu erwarten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Aus gesundheitlichen Gesichtspunkten birgt eine artgerechtere Haltung z.T. neue Herausforderungen. So sind Tiere, die sich in Außenbereichen aufhalten, anderen Risiken als in Ställen ausgesetzt (Hoop 2009). Witterungsbedingte Belastungen und externe Erregerreservoirs, die weniger gut durch den Tierhalter zu regulieren sind, spielen eine besondere Rolle. Einige Studien

zeigten jedoch, dass befürchtete negative Einflüsse durch Zugang zum Außenbereich, wie Sonnenbrand und gesteigerter Parasitenbefall, bei entsprechend angepasstem Management vernachlässigbar sind (Cagienard et al. 2005).

Ebenso sind Hygienemaßnahmen wie Reinigung und Desinfektion zur Unterbrechung möglicher Infektionsketten in ökologischen Betrieben im Vergleich zu konventionellen Betrieben zum Teil erschwert. Eingestreute Liegeflächen, die in ökologischen Betrieben vorgeschrieben sind, können deshalb bei unzureichendem Hygienemanagement auch hier ein Gesundheitsrisiko darstellen (Ullrich et al. 2006, Hybschmann et al. 2011). Es gilt somit, an die jeweilige Betriebsform angepasste Lösungen zu finden, die die jeweiligen Vor- und Nachteile der Betriebsform und Maßnahmen zur Früherkennung von spezifischen Risikofaktoren berücksichtigen.

Insgesamt sind bauliche Maßnahmen in der Regel mit sehr hohen Kosten verbunden. Bei vielen Betrieben kommen sie daher nur bei Neubauten bzw. bei Sanierungen in Frage, sodass baulichen Maßnahmen oder Veränderungen ganzer Haltungssysteme meist nicht kurzfristig umgesetzt werden. Zudem ist es möglich, dass durch die derzeit geringeren Gewinnmargen (z.B. durch Wegfall der Milchquote) die Bereitschaft für bauliche Investitionen verringert ist. Auch der Bestandsschutz kann bei Neuerungen gefährdet werden, sodass der Wegfall der Genehmigung eine weitere Hürde darstellen kann. Auf der anderen Seite kann durch bauliche Maßnahmen der Gesundheitsstatus der Tierbestände deutlich erhöht werden, wodurch im besten Fall die Kosten für Tierarzneimittel verringert und Verlustraten reduziert werden können.

4.7 Maßnahme: Stärkung des Immunsystems

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Zur Stärkung des Immunsystems gehören:

- ▶ Prophylaktische Impfung nicht infizierter Tiere oder Herden. Dies ist eine der wirkungsvollsten aktiven Immunisierungsmaßnahmen bei zahlreichen Erkrankungen.
- ▶ Versorgung von Jungtieren mit Kolostrum als passive Immunisierung. Dies verbessert die Infektionsabwehr in den für die Gesundheit entscheidenden ersten Lebenstagen

Tierartsspezifische Empfehlungen werden von der Ständigen Impfkommision Veterinärmedizin erarbeitet. Um Impfprogramme überregional und überbetrieblich auf den einzelnen Stufen der Erzeugung vom Jungtier bis zum Masttier abzustimmen, ist auf Initiative von genossenschaftlichen Erzeugergemeinschaften und Viehvermarktungsorganisationen vor wenigen Jahren die Allianz zur Schaffung von Informations- und Dienstleistungs-Agenturen ins Leben gerufen worden (AIDA). Aus dieser Allianz ist die Tiergesundheitsagentur eG (TIGA) entstanden als Betreiber einer Datenbank für Monitoringergebnisse bezogen auf die wirtschaftlich wichtigsten Erkrankungen in der Schweineproduktion. Hier kann sich der Landwirt über sinnvolle Impfmaßnahmen informieren sowie Empfehlungen zur Integration wirksamer Impfprogramme in das Managementsystem erhalten. Diese Empfehlungen ersetzen nicht das betriebliche Monitoring, das der Landwirt mit seinen Hoftierarzt auf die jeweilige Gesundheitssituation in seinem Bestand abstimmt.

Auch die Versorgung von Jungtieren mit Kolostrum kann entscheidend zur Verbesserung der Immunabwehr beitragen (Quigley et al., 2002). Kälber und Ferkel erhalten keine Immunität über die Plazenta der Muttertiere und sind somit auf die postnatale Versorgung über das Kolostrum angewiesen (Chucrí et al., 2010). Problematisch kann in einigen Fällen die Fütterungshäufigkeit sein (gesetzlich vorgeschrieben in der Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere). Nach § 11 muss zwei Mal pro Tag gefüttert werden, natürlich sind allerdings fünf und mehr Säuge-Ereignisse bei Jungtieren (De Paula Vielra,

2008). Bei Ferkeln wird speziell bei großen Wurfzahlen die Sauenmilch durch ein zusätzliches Angebot von Milchtränken ergänzt, bei Kälbern setzt sich trotz lange bekannter wissenschaftlicher Empfehlungen (Hammon et al., 2002) eine ad libitum Fütterung noch nicht durch. In der Praxis werden zudem viele Milchaustauscher eingesetzt, die mit Milch als Vorbild kreiert wurden, aber aus finanziellen Gründen pflanzliche Proteine enthalten, die für den Darm der Jungtiere eine zusätzliche Belastung darstellen können. Insgesamt besteht hier noch erheblicher Forschungsbedarf, da weder der Bedarf von sehr jungen landwirtschaftlichen Nutztieren (0-4 Wochen nach der Geburt) bekannt ist, noch wurden entsprechende Ernährungsempfehlungen entwickelt (Steinhoff-Wagner, 2016).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Impfungen stellen für viele Erkrankungen den sichersten Schutz dar. Für Jungtiere ist zudem die ausreichende Versorgung mit Kolostrum ein entscheidender Faktor zur Stärkung der Immunabwehr. So kann beispielsweise die Anfälligkeit für Durchfallerkrankungen durch Kolostrum deutlich gesenkt werden. Durch die Maßnahmen zur Stärkung der Immunabwehr und der damit einhergehenden Reduzierung der Erkrankungsraten ist somit auch ein verringerter Tierarzneimiteleinsatz zu erwarten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Prophylaktische Schutzimpfungen sind nur für bestimmte, insbesondere durch Viren ausgelöste Infektionserkrankungen verfügbar und sinnvoll. Zudem schützen Impfungen häufig nur vor bestimmten Erregern, sodass auch geimpfte Tiere keinen Schutz vor allen Infektionen haben. Die Gabe von Kolostrum stärkt das Immunsystem von Jungtieren insgesamt. Dennoch reicht auch diese Maßnahme nicht aus, wenn nicht gleichzeitig häufige abiotische Risikofaktoren (z.B. Zugluft, Schadstoffe) erkannt und mit geeigneten Maßnahmen beseitigt werden. Bei der Impfung von Ferkeln in der Säugephase gegen verschiedenste Erreger (PIA, Mycoplasmen usw.) mit unterschiedlichen Vakzinen ist noch nicht ausreichend geklärt, inwieweit sich die zugeführten Stoffe gegenseitig negativ beeinflussen bzw. sich die Maßnahmen durch Wirkungsunterschiede sogar schwächen oder gegenseitig aufheben können.

4.8 Maßnahme: Bedarfsgerechte Fütterung

Beschreibung der Maßnahme und seiner Wirkweise

Eine bedarfsgerechte Fütterung bedeutet, die Qualität, Zusammensetzung und leistungsgerechte Menge der Futtermittel gleichzeitig zu betrachten. In diesem Zusammenhang haben auch phytogene Futtermittelzusätze stark an Bedeutung zugenommen. Seit dem Beginn der Diskussionen über die Einschränkung des Einsatzes von Antibiotika vor einigen Jahren werden neue Produkte in Verbindung mit entsprechenden wissensintensiven Dienstleistungen zur Optimierung der Anwendung angeboten. Somit erfahren phytogene Futtermittelzusätze derzeit einen deutlichen Innovationsschub. Phytogene Futtermittelzusätze werden ausschließlich aus Pflanzen gewonnen und können Kräuter und Gewürzen umfassen. In der EU-Verordnung über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung (VO (EG) Nr. 1831/2003) sind über 200 Einträge zu Kräuterextrakten und ätherischen Ölen zu finden (Franz, 2013). Diese sollen, wenn sie dem Futter zugesetzt sind, zur Leistungssteigerung beitragen. Zudem wirken einige Pflanzenextrakte antimikrobiell, antiprotozoisch oder antioxidativ (Franz, 2013). Daneben sind auch Futtermittelzusätze bakteriellen Ursprungs verfügbar, die u.A. eine Stärkung des Immunsystems bewirken sollen.

Pro- und Präbiotika fördern beispielsweise im Geflügelbereich die Gesundheit des Magen-Darm-Traktes und somit das Wachstum des Geflügels. Auch wenn in einer Studie in den USA die Kolonisierung mit Pathogenen durch Pro- und Präbiotika reduziert werden konnte, führte das nicht gleichzeitig zu einem reduzierten Antibiotikaeinsatz (Roto et al. 2015).

Antimikrobiell wirken vor allem phenolische Verbindungen wie beispielsweise Thymol oder Carvacrol. So konnte durch deren Einsatz bei Schweinen eine Reduktion der Besiedlung mit *E. coli* festgestellt werden (Franz, 2013). Auch Galakturonsäure kann Bakterien binden und dadurch Durchfallerkrankungen hemmen (Franz, 2013). Bei der Zulassung dieser Wirkstoffe wird jeweils abgewogen, ob es sich um eine therapeutische Wirkung im Sinne des AMG oder eine diätetische Wirkung im Sinne des Futtermittelrechts handelt.

Durch den Zusatz von Pflanzenkohle zum Futter kann sowohl im Rinder- als auch im Geflügelbereich eine Bindung von Toxinen im Magen-Darm-Bereich der Tiere erzielt werden, wodurch die Darmflora positiv aktiviert wird (Gerlach & Schmidt 2012). Auch bietet die Naturheilkunde einige durch Tierärzte klinisch geprüfte Mittel wie z.B. Arnika bei Blutungen, Prellungen und zur Wundheilung oder Mariendisteln bei Leberstoffwechselstörungen von Kühen. Diese werden eingesetzt, da keine Wartezeiten einzuhalten sind, negative Umweltwirkungen nicht erwartet werden und sie damit in vielen Fällen eine Alternative für die Gesunderhaltung der Tiere darstellen.

Ein Sonderfall stellt die Bekämpfung von Kokzidiose dar. Die parasitäre Infektion mit Kokzidiose, häufig auch im Zusammenhang mit *Clostridium perfringens*, ist die häufigste Erkrankung bei Geflügel und zählt zu den ökonomisch bedeutendsten Krankheiten in der Nutztierhaltung (Hafez, 2008). Neben Geflügel können auch Nagetiere, Rinder und Lämmer von der sich rasch in einem Bestand ausbreitenden Erkrankung betroffen sein (Agneessens et. al. 2006). Die Parasiten schädigen die inneren Organe der Tiere, wodurch die Aufnahme von Nährstoffen reduziert und das Wachstum vermindert wird. Häufig verläuft die Erkrankung tödlich (Felsner & Schwertl-Banzhaf, 2015). Zur erfolgreichen Bekämpfung der Kokzidiose und *Clostridium perfringens*, die ubiquitär vorkommen, reichen Hygienemaßnahmen alleine in der Regel nicht aus. Als Ursache für *Clostridium*-Infektionen kommt der Fütterung von zu viel Eiweiß als Durchfallverursacher eine Bedeutung zu. Nach der Infektion muss die Behandlung so früh wie möglich erfolgen. Da Kokzidiose aufgrund der raschen Vermehrung und hohen Ansteckungsrate bei Ausbruch kaum zu kontrollieren ist, sind Kokzidiostatika (z.B. Diclazuril) im Rahmen der Verordnung über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung präventiv als Futtermittelzusatzstoff zugelassen (Hafez, 2008). Eine Studie aus dem Jahr 2000 zeigt, dass ein Großteil der Futtermittel mit Zusatzstoffen angereichert ist, welche vermutlich erheblich zum Eintrag von Wirkstoffen in die Umwelt beitragen (Winckler & Grafe 2000). Da die Wirkstoffe durch das Futter permanent von den Tieren aufgenommen werden, nehmen Resistenzen gegen kokzidienwirksame Arzneimittel und Futterzusatzstoffe zu. Alternativen gewinnen daher immer mehr an Bedeutung (MDS Tiergesundheit, 2015). Alternativbehandlungen umfassen Medikamente (z.T. der gleiche Wirkstoff, aber kurativ als Medikament eingesetzt) oder Impfungen in Kombination mit einem verbesserten Hygiene- und Betriebsmanagement. So kann eine Paracox-Impfung Hennen während der Legetätigkeit erfolgreich vor Kokzidiose-Ausbrüchen schützen (Hadorn et al. 2001). Wird mit attenuiertem Lebendimpfstoff geimpft, dürfen keine Kokzidiostatika gegeben werden und auch eine Antibiotikagabe sollte unterbleiben. Ansonsten besteht die Gefahr, dass auch die Impfkokzidien abgetötet werden (MDS Tiergesundheit 2015). Auch eine Einmalgabe kann eine Alternative darstellen. Bei Rindern führte eine einmalige metaphylaktisch verabreichte Dosis von 1 mg Diclazuril pro kg Körpergewicht zu einer Kontrolle der natürlich erworbenen Infektion mit *E. bovis* und/oder *E. zuernii*, wodurch die Durchfalldauer reduziert werden kann (Agneessens et. al. 2006). Aufgrund der vorhandenen Alternativen und Risiken gilt es somit zu überdenken, ob die Gabe von Kokzidiostatika als Futtermittelzusatzstoff erfolgen muss.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimiteleinträge in die Umwelt

Insgesamt kann einerseits durch die immunsteigernden Eigenschaften, andererseits aber auch durch die antimikrobiellen Effekte der Futtermittelzusatzstoffe die Gesunderhaltung der Tiere verbessert werden. Beides lässt erwarten, dass dies dazu führt, den Tieren weniger häufig Tierarzneimittel zu verabreichen.

Durch eine Kombination von Maßnahmen zur Bekämpfung von Kokzidiose ist insgesamt eine Senkung des Eintrags von Antikokzidialen in die Umwelt bei gleichbleibendem Schutz vor Kokzidiose für das Tier zu erwarten. Die Praxis zeigt, dass die dauerhafte Verwendung von einzelnen Kokzidiostatika als Futtermittelzusatzstoff auch aufgrund der Gefahr der Ausbildung von Resistenzen nicht sinnvoll ist.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

In vielen Bereichen fehlen Feldversuche, die die tatsächliche Wirksamkeit sowie die Art und Weise der Anwendung von Futtermittelzusätzen in der Praxis beschreiben und festlegen. Einige Futtermittelzusätze zeigen positive Wirkungen auf Wachstum und Stärkung der Immunabwehr nur wenn gleichzeitig gute Hygienebedingungen gegeben sind. Zudem muss untersucht werden, inwiefern der Eintrag von Futtermittelzusatzstoffen oder deren Abbauprodukte in Gewässer und Böden die Umwelt belastet. Denn viele Naturstoffe aus Pflanzen – besonders ätherische Öle – dienen dazu, Mikroorganismen und Fressfeinde abzuwehren, sodass sie auch in Gewässern noch Auswirkungen auf Wasserorganismen haben können. Ein Beispiel für diese Problematik ist das häufig in Reinigungsmitteln verwendete Zitrusöl, welches u.A. die Stoffe Limonen und Citral enthält. Limonen ist ein Gefahrstoff, der als sensibilisierend und als umweltgefährlich eingestuft ist. Es kann somit Allergien auslösen und ist sehr giftig für Wasserorganismen. Citral ist als Stoff sensibilisierend und kann somit ebenfalls Allergien auslösen. Ob derartige Gefahren für die Umwelt auch von als Futtermittelzusatz zugelassenen Substanzen ausgehen, gilt es bei der Bewertung von pflanzlichen Futtermittelzusätzen jeweils mit zu berücksichtigen.

Die genannten Alternativen zur Prävention und Behandlung von Kokzidiose können nicht alle Vorteile der Kokzidiostatika abdecken. Eine Leistungsförderung ist durch die Impfung nicht zu erwarten. Möglich ist jedoch eine Absenkung des Kokzidiostatika-Einsatzes auf ein verantwortbares Niveau.

4.9 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

Viele Maßnahmen zum Präventiven Gesundheitsmanagement sind im Interesse des Verbraucher-, Umwelt- und Tierschutzes. Aber auch vor dem Hintergrund, die Wirtschaftlichkeit tierhaltender Betriebe zu erhalten, sollten die hier vorgeschlagenen Maßnahmen stärker öffentlich gefördert werden.

Für Tierhalter und die sie beratenden Organisationen ist die Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen in der Regel mit hohem personellem und organisatorischem Aufwand verbunden. Im besten Fall können die hierdurch entstehenden Kosten durch eine verbesserte Gesunderhaltung der Tiere und eine höhere Produktqualität und -sicherheit ausgeglichen werden. Dies ist jedoch nicht immer kostendeckend möglich; ebenso wenig wie die Weiterreichung des Aufwands durch erhöhte Preise für tierische Produkte. Können einzelne Landwirte, Tierärzte und Erzeugergemeinschaften die Vorleistungen zur Entwicklung der vielen Komponenten der Systeme alleine nicht erbringen, scheitert deren Umsetzung. Auch Forschungsverbände haben häufig zu geringe Laufzeiten, sodass auch hier viele Vorschläge für wissenschaftlich fundierte Maßnahmen nicht umgesetzt werden können. Die Sensibilisierung der Öffentlichkeit für das Problem der Umsetzbarkeit ist daher dringend

erforderlich. Zudem müssen Anreizsysteme geschaffen werden, um die Weiterentwicklung und die Umsetzung präventiver Maßnahmen zu honorieren. Denkbar sind hier beispielsweise:

- ▶ Steuerliche Entlastungen teilnehmender Betriebe an zeitlich unbegrenzten überbetrieblichen Programmen zum Präventiven Gesundheitsmanagement unter Berücksichtigung des geltenden Beihilfe- und EU-Rechts,
- ▶ Investitionen in den Aufbau von überbetrieblichen Datenbanken sowie Informations- und Kommunikationssystemen,
- ▶ Fördergelder zur Umsetzung baulicher Maßnahmen,
- ▶ Schaffung von Angeboten für Schulungskonzepte: z.B. zur Einführung von Sachkundenachweisen für den Einsatz von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sowie für die Verabreichung von umweltrelevanten Futtermittelzusatzstoffen (in Anlehnung an Sachkundenachweise für Pflanzenschutzmittel, Düngemittel) und Präventionsmaßnahmen im Sinne eines One-Health Ansatzes (Tier, Mensch, Umwelt),
- ▶ Verpflichtung zur Mitarbeiterschulung im Sinne des Infektionsschutzgesetzes z.B. bei der Einstellung fachfremder Personen,
- ▶ Erweiterung von Schulungsangeboten für Tierhalter und Tierärzte mit Blick auf den Einsatz alternativer Heilmethoden,
- ▶ Kostengünstigere Bereitstellung von Schulungsangeboten sowie Bildungsgutscheinen für Tierhalter, Tierärzte und Berater,
- ▶ Einrichtung von Fonds auf Bundesebene (ähnlich wie im Fall der Tierseuchen-Prävention), über die beispielsweise die Kosten für die Schulungen und Monitoringmaßnahmen auch bei nicht anzeige- und meldepflichtigen Erkrankungen teilweise von staatlicher Seite übernommen werden,
- ▶ Fördermaßnahmen zur Unterstützung von mobilen Laboren zur Ermittlung von Gesundheitsrisiken in Einzelbetrieben sowie in viehdichten Produktionsregionen mit besonderen Herausforderungen im Gewässerschutz,
- ▶ Finanzielle Unterstützung von PPP-Strukturen zur Stärkung der Zusammenarbeit von Veterinärbehörden, Tierseuchenkassen und privatwirtschaftlichen Organisationen, erstens zur Verbesserung präventiver Gesundheitsmanagementsysteme, zweitens zur Motivation von Wirtschaft und staatlichen Einrichtungen, gleichermaßen Verantwortung zu übernehmen,
- ▶ Weiterführung von Landes- und Bundesprogrammen zur Förderung der Entwicklung und Umsetzung von personal- und kostenintensiven Managementsystemen zur Unterstützung umweltverträglicher und standortgerechter Landwirtschaft.

Insgesamt gilt es, zur erfolgreichen Umsetzung der Maßnahmen weiterhin die Zusammenarbeit von Landwirten mit Tierärzten und landwirtschaftlichen Beratern zu fördern. Darüber hinaus sollte der Wissenstransfer aus der Forschung intensiviert werden.

5 Einfluss von Düngeraufbereitung auf Bioverfügbarkeit und Abbau von Tierarzneimitteln

Kurt Möller

*Fachgebiet Düngung und Bodenstoffhaushalt,
Institut für Kulturpflanzenwissenschaften,
Universität Hohenheim*

Maßnahmenüberblick:

5.2	Maßnahme: Passive Lagerung von Wirtschaftsdüngermitteln	90
5.3	Maßnahme: Kompostierung von festen Wirtschaftsdüngern oder Belüftung von Flüssigdüngemitteln	92
5.4	Maßnahme: Anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdüngern	94
5.5	Maßnahme: Aufwändigere Ansätze der Flüssigmistzwischen- und nachbehandlung	96
5.6	Potential nicht etablierter Verfahren der Wirtschaftsdüngeraufbereitung	104

5.1 Problemstellung: Einflussfaktoren auf die Konzentration von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngemitteln und deren Abbau

Neben der Einsatzmenge des Wirkstoffes, welche als wichtigste Größe den Gehalt von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngern bestimmt, haben zahlreiche weitere Faktoren Einfluss auf die messbaren Gehalte:

- ▶ Die Adsorptionsneigung eines Wirkstoffes an funktionellen Gruppen der organischen Masse im Substrat.
- ▶ Die chemische Stabilität von Tierarzneimitteln unter oxidischen und anoxischen Umweltbedingungen. Der Ring von β -Laktamen gilt z.B. als relativ instabil gegenüber chemischer und mikrobiologischer Degradation, sodass Antibiotika aus dieser Gruppe relativ rasch in Dunglagerstätten abgebaut werden (Cha et al. 2015). Auch Tetrazykline gelten insgesamt als chemisch relativ labil (Søeborg et al. 2004).
- ▶ Dem pH-Wert eines Substrats und das entsprechende Verhalten eines Wirkstoffes (pKa Wert(e)).
- ▶ Einstreu: Die Einstreumengen beeinflussen das Verhalten von Tierarzneimitteln in organischen Wirtschaftsdüngern (De Liguoro et al. 2003, Kim et al. 2012a, Liu et al. 2015). Bei Festmistern führen höhere Einstreumengen zu höheren Temperaturen im Dungstapel und erhöhen damit die Umsatzraten. Höhere Einstreumengen erhöhen auch die Anzahl der positiven und negativen Ladungen im Substrat, und verstärken damit eine Adsorption von Tierarzneimitteln an den funktionellen Gruppen an der Oberfläche der organischen Masse (Kim et al. 2012a, Liu et al. 2015).
- ▶ Wassergehalt: Je höher der Wassergehalt des gelagerten Wirtschaftsdüngers, desto höher ist der Anteil der gelösten Tierarzneimitteln (Löslichkeitsprodukt). Gelöste Tierarzneimittel können während der Lagerung oder Behandlung ggf. abgebaut werden (Wang et al. 2006).
- ▶ Konzentration eines Tierarzneimittels: Bei Tierarzneimitteln mit starker Sorptionsneigung steigt der prozentuale Anteil gelöster Verbindungen am Gesamtgehalt mit steigenden Konzentrationen, z.B. bei Tetrazyklinen (Álvarez et al. 2010).
- ▶ Längere Lagerdauer sowie höhere Temperaturen während der Lagerung wirken sich positiv auf den Abbau zahlreicher Tierarzneimittel aus (Loftin et al. 2005, 2008, Wang et al. 2006, Storteboom et al. 2007, Aust et al. 2008, Arikian et al. 2009a, Bao et al. 2009) (Kapitel 5.2).
- ▶ Art und Intensität der Behandlung: Kompostierung (Kapitel 5.3) oder anaerober Vergärung (Kapitel 5.4).
- ▶ Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern: vor und nach einer anaeroben Vergärung, z.B. durch Fest-Flüssig-Trennung, die bei organischen Schadstoffen mit hoher Sorptionsneigung wie bei Östrogenen (Le et al. 2013) und zahlreichen Antibiotika wie Tetrazykline (Álvarez et al. 2010) zu einer weitgehenden Trennung und Aufkonzentrierung der Schadstoffe in der Festphase führt (Kapitel 5.5).

Biotischer (mikrobieller) und abiotischer (chemischer) Abbau beeinflussen während der Lagerung und Behandlung von Wirtschaftsdüngern die Gehalte an messbaren Tierarzneimitteln in sehr unterschiedlichem Maße. Abiotische Vorgänge sind hauptsächlich für Abbau und Umsetzung von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft verantwortlich. Der Abbau bzw. die Umsetzung von Tierarzneimitteln wird bei einer passiven Lagerung und gezielten Behandlungsoptionen wie z.B. Kompostierung oder anaerobe Vergärung in Biogasreaktoren von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft nicht von den biotischen, sondern häufig von den oben beschriebenen abiotischen Prozessen dominiert. Bei manchen Tierarzneimitteln können allerdings nur biologische Vorgänge einen Abbau bewirken, z.B. bei Lasalocid (Sassman & Lee 2007). Die Abbauvorgänge können zunächst zu Zwischenprodukten führen, die teilweise ebenfalls eine biologische Wirkung entfalten (z.B. Sulfonamide zu Hydroxyl-Sulfonamide, Ho et al. 2013, Liu et al.

2015). Diese Zwischenprodukte sind häufig weniger wirksam als die Ausgangswirkstoffe (Teeter & Meyerhoff 2003, Mohring et al. 2009, Ho et al. 2013, Liu et al. 2015).

Allerdings werden zahlreiche Tierarzneimittel so stark an die Oberfläche der organischen Masse adsorbiert, dass sie mit gängigen Extraktionsmitteln nicht mehr (vollständig) erfasst werden (Pouliquen & Le Bris 1996, Harms 2006, Rabølle & Spliid 2006, Loke et al. 2002, Arikan et al. 2007, 2009a, Dolliver et al. 2008, Bao et al. 2009, Boxall 2010, Kim et al. 2011, Massé et al. 2014, Liu et al. 2015). Dies kann lediglich als scheinbarer Abbau bewertet werden. Hintergrund ist, dass Wirtschaftsdünger an den Oberflächen der organischen Masse negativ geladene funktionelle Gruppen (z.B. Carboxy: COOH, Carbonyl: CO-, Hydroxy: OH-, Amino: -NH₂, Imino: NH-) enthalten, kombiniert mit hohen Mengen an zweiwertigen Kationen (Ca²⁺, Mg²⁺). Wirkstoffe mit negativen Ladungen wie z.B. Tetrazykline bilden sog. Chelatkomplexe mit organischen Bestandteilen der Wirtschaftsdünger (Martin 1979, Kim et al. 2011), bei denen zwei- und dreiwertige Kationen das Zentralatom bilden (Day et al. 1978). Positiv geladene Wirkstoffe wie z.B. Tylosin bilden keine Komplexe mit zweiwertigen Kationen, gehen aber starke ionische Bindungen mit den negativ geladenen funktionellen Gruppen der Wirtschaftsdünger ein (Loke et al. 2002, Kim et al. 2011), die ebenfalls zu einer starken Adsorption führen. Adsorbierte Tierarzneimittel unterliegen nicht direkt den Abbauvorgängen während der Wirtschaftsdüngerlagerung bzw. -behandlung, daher sind die Kenntnisse der Adsorptionsneigung wichtig zur Bewertung von Tierarzneimittelgehalten in Wirtschaftsdüngern, zumal sie sich z.B. auch auf das Auswaschungsrisiko nach Feldausbringung auswirken (siehe Kapitel 6). Sie unterscheidet sich sehr stark, nachfolgend aufgeführt einige wichtige Beispiele:

- ▶ Starke Sorptionsneigung: 3,5-Dichlorophenol (Mitchell et al. 2013), Tetrazyklin (Kim et al. 2005, Álvarez et al. 2010), Tylosin (Loke et al. 2002, Angenent et al. 2008), Östrogene wie Estrone, 17β-Estradiol, 17α-Ethinylestradiol (Clara et al. 2004, Ternes et al. 2004, Andersen et al. 2005, Carballa et al. 2008), Fluoroquinolon (Golet et al. 2003).
- ▶ Schwache Sorptionsneigung: Sulfamethazin (Mitchell et al. 2013), Ibuprofen, Diclofenac, (Stuer-Lauridsen et al. 2000, Jones et al. 2002, Ternes et al. 2004, Carballa et al. 2008), Metronidazol (pKa = 2.5) (Lund 1994, Loke et al. 2002), Naproxen, Sulfanemide, Roxithromycin, Olaquinox, Metronidazole (Loke et al. 2002, Carballa et al. 2008).

Adsorptionsreaktionen werden durch aerobe Bedingungen begünstigt (Dorival-García et al. 2014), und erklären zum Teil die raschere Abnahme (um den Faktor 1,5 bis 2,0) der messbaren Arzneimittelgehalte bei einer Kompostierung im Vergleich zu einer anaeroben Vergärung (Wu et al. 2008). Zudem führt die anaerobe Vergärung zu einer starken Abnahme der Gehalte an organischen Säuren (Möller & Müller 2012), die die Adsorption von zahlreichen Tierarzneimitteln durch Förderung der Bildung von Komplexen begünstigen (Gu et al. 2007, Kim et al. 2012a, Ho et al. 2013).

Durch die Adsorption verlieren Tierarzneimittel (zunächst) ihre Bioaktivität (Arikan et al. 2009a), können aber zugleich nicht abgebaut werden (Álvarez et al. 2010). Dies erschwert die Abschätzung und Bewertung von Maßnahmen in Bezug auf ihr Potential zur Reduzierung von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngern. Da Tierarzneimittel bei starker Sorption an die festen Partikel in Wirtschaftsdüngern gebunden sind, können Aufbereitungstechniken wie die Fest-Flüssig-Trennung zur Konzentrierung der Tierarzneimittel in der festen Phase eingesetzt werden (Le et al. 2013). Wenn die feste Phase während der Behandlung im Biogasfermenter oder im Boden abgebaut wird, können die Wirkstoffe freigesetzt werden. Es ist derzeit unbekannt, inwieweit die resultierenden Konzentrationen an Tierarzneimitteln in der Bodenlösung einen Effekt auf die Mikrofauna des Bodens haben (Arikan et al. 2009a).

Die Löslichkeit von Tierarzneimitteln ist stark abhängig von der Anzahl geladener Teilchen an deren Oberfläche und damit vom pH-Wert im Substrat und im Boden, denn ungeladene

Verbindungen/Oberflächen haben eine geringere Sorptionsneigung als geladene (Tolls 2001). Der pKa-Wert (Säurekonstante = Gleichgewichtsreaktion eines Wirkstoffs mit Wasser unter Protolyse) gibt Auskunft darüber, inwieweit das Verhalten eines Wirkstoffs von den pH-Bedingungen im Substrat abhängig ist. Wirkstoffe mit einem sehr niedrigem pKa-Wert wie Ibuprofen (pKa: 4,5–5,2), Diclofenac (pKa: 4,15), Imidazol (pKa: 2,5), Naproxen und Östrogene bilden unter üblichen pH-Bedingungen in Flüssigmisten geladene Moleküle mit hoher Sorptionsneigung, unter sauren pH-Bedingungen vermindert sich deren Sorptionsneigung relativ stark durch zunehmende Aufnahme von Protonen (Lund 1994, Castela-Papin et al. 1999, zitiert nach Loke et al. 2002, Carballa et al. 2008). Wirkstoffe mit einem hohen pKa-Wert wie Tylosin (pKa: 7,7), Carbadox (pKa: 10,0), Roxithromycin oder Sulfamethoxazol reagieren weit schwächer auf Veränderungen des pH-Wertes in Wirtschaftsdüngern (Loke et al. 2002, Carballa et al. 2008). Bestimmte Wirkstoffe weisen mehrere pKa-Werte auf, z.B. Oxytetracyclin (pKa: 3,5, 7,6 und 9,2), mit mehreren funktionellen Gruppen und einer entsprechend hohen Sorptionsneigung bei üblichen pH-Werten in Wirtschaftsdüngern (Loke et al. 2002). Sie können als Kationen, Zwitterionen mit einer positiven und einer negativen Ladung und als Anionen unter sauren, leicht sauren bis neutralen bzw. alkalischen pH-Werten vorkommen (Thiele-Bruhn 2003, Chen & Huang 2009). Andere weisen keinen pKa-Wert auf, ihre Löslichkeit ist daher pH-Wert unabhängig (Loke et al. 2002). Neben pKa-Wert spielt jedoch auch die Elektronegativität eines Wirkstoffs und damit deren Fähigkeit, in einer chemischen Bindung Elektronenpaare an sich zu ziehen, eine gewisse Rolle bei deren Löslichkeit (Loke et al. 2002).

Der pH-Wert kann während der Lagerung/Behandlung jedoch auch direkt Abbauvorgänge beeinflussen. Zum Beispiel wird Chlortetracyclin unter neutralen und leicht alkalischen Bedingungen im ersten Schritt des Abbaus irreversibel in ein Zwischenprodukt umgewandelt (Halling-Sørensen et al. 2002). Diese Eigenschaften könnten bei der Bewertung von neueren Verfahren der Wirtschaftsdüngeranfertigung (z.B. Ammoniakstrippung, Zugabe von Säuren oder Laugen, Struvitfällung, bio-elektrische Ansätze der Flüssigmistbehandlung wie die mikrobielle Brennstoffzelle, etc.) im Hinblick auf die Degradation von Tierarzneimitteln eine wichtige Rolle spielen.

Bei bestimmten Arzneiwirkstoffen kommt es bei Lagerung oder Behandlung zunächst zu einer Phase ohne nennenswerten bzw. verminderten Abbau, da sich die Mikroorganismen zunächst an die neue C-Quelle adaptieren müssen (Ingerslev & Halling-Sørensen 2000, Pérez et al. 2005, Carballa et al. 2007, Gartiser et al. 2007, Musson et al. 2010). Wenn hohe Konzentrationen an Tierarzneimitteln (Álvarez et al. 2010, Selvam et al. 2012, Massé et al. 2014) kombiniert mit hohen Konzentrationen an potentiell toxischen Elementen (Schwermetalle) auftreten, kann der Abbau weiter verzögert werden (Liu et al. 2015). Kupfer und Zink, häufige Zusätze in Futtermischungen in der Geflügel- und Schweinehaltung, erhöhen das Risiko eines verzögerten Abbaus von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngern aus der intensiven Tierhaltung.

5.2 Maßnahme: Passive Lagerung von Wirtschaftsdüngermitteln

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Eine passive Lagerung von Wirtschaftsdüngern ist vermutlich die am häufigsten anzutreffende Methode der Behandlung. Dabei wird das Material bis zur Ausbringung auf landwirtschaftliche Nutzflächen gesammelt und mit oder ohne Abdeckung gelagert, ohne dass gezielt weitere Behandlungen durchgeführt werden. Es entstehen Stapelmiste bzw. Flüssigmiste/Güllen. Eine Lagerung erfordert ggf. die Schaffung entsprechender Lagerkapazitäten und bei Flüssigdüngemitteln eine gute Durchmischung des Materials vor Ausbringung als Voraussetzung für eine gleichmäßige Verteilung in der Fläche. Durch die Novellierung der Düngeverordnung werden die Zeiträume, in denen Wirtschaftsdünger ausgebracht werden dürfen, verkürzt. Damit einhergehend ist auch die Vergrößerung des Lagerraums für Wirtschaftsdünger gefordert. Diese Maßnahmen werden im Handlungsfeld landwirtschaftliche Praktiken dargestellt.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimiteleinträge in die Umwelt

Während der Lagerung von Wirtschaftsdüngern nehmen die Konzentrationen zahlreicher Tierarzneimittel ab (Masse et al. 2014). Die Halbwertszeiten sind stark wirkstoffabhängig und von der Temperatur im Substrat beeinflusst (Loftin et al. 2005, 2008, Bradford et al. 2006, Storteboom et al. 2007, Bohn et al. 2013, Massé et al. 2014, Liu et al. 2015). In zahlreichen Versuchen wurde festgestellt, dass während einer passiven Lagerung sehr hohe Abbauraten für Tetrazykline, Makrolide (Tylosin, Erythromycin, Roxithromycin) sowie Östrogene und Progesteron erreicht werden (vgl. Tabelle 6). Da der Abbau vom Wassergehalt des Mediums abhängig ist, wurde bei der Lagerung von Festmisten ein effektiver Abbau von Sulfonamiden beobachtet, bei Flüssigdüngemitteln nimmt dagegen die passive Lagerung kaum Einfluss auf verschiedene Wirkstoffe dieser Stoffgruppe (Sulfamerazin, Sulfamethoxypyrazin, Sulfaguanidin, Sulfisomedin). Der biotische und abiotische Abbau von Wirkstoffen aus der Gruppe der Tetrazykline ist stark von der Beschaffenheit des Substrats abhängig und ist in Festmisten begünstigt, allerdings entfällt ein großer Teil der Reduktion auf die Sorption der Substanz an die festen Bestandteile des Mistes (Arikan et al. 2009a). Wirkstoffe mit geringer Abbaurate bei passiver Lagerung sind u.a. Doxycyclin, Ciprofloxacin, Flubendazol und Eprinomectin.

Tabelle 6: Vergleich der Wirkungen verschiedener Maßnahmen der Behandlung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft auf den Abbau von Tierarzneimitteln (in Anlehnung an die Zusammenstellungen in den Tabelle 10 bis 12 im Anhang)

Wirkstoff	Passive Lagerung		Kompostierung	Anaerobe Vergärung
	Fest	flüssig		
Tetrazykline:				
Chlortetrazyklin	++	++	+ bis ++	+ bis ++
Doxyzyklin		+	++	+ bis ++
Oxytetrazyklin	++	++	++	++
Tetrazyklin	++	0 bis ++	++	+ bis ++
Sulfonamide:				
Sulfadiazin	+		++	0 bis ++
Sulfadimidin	++		0 bis ++	+ bis ++
Sulfamerazin		0		++
Sulfamethoxazol		++	++	+ bis ++
Sulfamethoxin			++	
Sulfamethoxypyridazin				+
B-Laktame:				
Ampicillin				++
Amoxicillin				0 bis +
Benzylpenicillin				+
Makrolide:				
Clarithromycin		++		
Erythromycin		++	++	0 bis ++
Roxithromycin		++		++
Tilmicosin			++	
Tylosin	++	++	+ bis ++	++
Fluorchinolone:				
Ciprofloxacin	+ bis ++			
Difloxacin		0 bis +		
Enrofloxacin		+ bis ++	++	
Levofloxacin			++	
Ofloxacin				+ bis ++
Andere Antibiotika:				
Bacitracin		++		
Chloramphenicol				0 bis ++
Clindamycin		++		
Florfenicol		++	++	++

Lincomycin		+		
Monensin	+		+ bis ++	0 bis +
Spectinomycin		++		
Tiamulin		0 bis +		
Trimethoprim		++		++
Hormone:				
Natürliche Östrogene und deren Abbauprodukte	++	0	+ bis ++	0 bis ++
Progesteron	++		++	++
Schmerzmittel:				
Paracetamol				+ bis ++
Antiparasitika:				
Doramectin	++			
Eprinomectin	0			
Flubendazol		0		

0 = kein Abbau, + = geringer bis mittelstarker Abbau, ++ = starker Abbau

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft sind jedoch auch andere positive wie negative Effekte zu beachten, die teilweise auch andere Schutzgüter betreffen: mit steigender Lagerdauer sinkt auch der Keimbesatz (Avery et al. 2005), ein positiver Effekt. Allerdings ist jede Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft mit Klimagasemissionen verbunden, welche umweltschädlich sind, sofern die Abgase nicht gezielt behandelt werden. Zudem können vor allem bei der Lagerung von Festmistern und separierten Feststoffen erhebliche Nährstoffverluste eintreten (insbesondere Stickstoff und Kalium), die durch die Art der Stapelung, eine mögliche Abdeckung, dem Wassergehalt u.ä. etwas reduziert werden können. Bestimmte Antibiotika erhöhen möglicherweise die Lachgasemissionen aus dem Festmiststapel (Hao et al. 2011). Eine passive Lagerung ist daher insgesamt mit einigen win-win-Beziehungen, aber mit mehreren win-loss-Beziehungen verbunden.

5.3 Maßnahme: Kompostierung von festen Wirtschaftsdüngern oder Belüftung von Flüssigdüngemitteln

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Eine Kompostierung ist der gezielte aerobe Abbau von stapelfähiger organischer Masse. Sie kann vornehmlich zur Behandlung von Festmist wie auch für die Feststoffe nach der Fest-Flüssig-Separierung von Substraten wie Gülle oder Gärresten verwendet werden. Hauptziel der Kompostierung ist die Bildung eines stabilisierten Düngemittels sowie eine Volumen- bzw. Massereduktion (Gómez-Brandón et al. 2013). Bei der Kompostierung liegt die Kerntemperatur im Dungstapel je nach Führung (Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und Intensität der

Umsetzung der Kompostmiete) und Materialbeschaffenheit zwischen 50 und 70 °C. Im Laufe der Kompostierung steigt zunächst der pH-Wert moderat an (Anstieg der Ammoniumgehalte) und fällt anschließend wieder ab infolge von Ammoniakausgasung (Ramaswamy et al. 2010, Liu et al. 2015).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Nahezu alle Versuche zur Kompostierung belegen eine Reduktion der messbaren Gehalte an Tierarzneimitteln in den untersuchten Komposten (für stoffspezifische Abbaugrade siehe Tabelle 6). Eine Kompostierung beschleunigt die Abnahme der messbaren Gehalte zahlreicher Tierarzneimittel und verkürzt die entsprechenden Halbwertszeiten im Vergleich zu einer passiven Lagerung (Arikan et al. 2007, Arikan 2009a, b). Allerdings liegen auch Studien vor, die keine Beschleunigung des Abbaus für dieselben Wirkstoffe feststellen konnten (Dolliver et al. 2008). Kompostierung ist eine sehr effiziente Maßnahme zur Reduzierung der messbaren Konzentrationen von Antikozidiostatika sowie Sulfonamide in Wirtschaftsdüngern. Die Gehalte an Tierarzneimitteln (z.B. Sulfachlorpyrazin) können auch durch eine anschließende Lagerung zusätzlich reduziert werden (Dijk & Keukens 2000, zitiert nach Dolliver et al. 2008).

Die Verringerung des Anteils von extrahierbaren Tierarzneimitteln kann bei der Kompostierung durch abiotische und biotische Prozesse oder eine Kombination beider erfolgen (Golet et al. 2002, 2003, Wang et al. 2006, Aust et al. 2008, Arikan et al. 2009a, Bao et al. 2009, Kim et al. 2012a, Liu et al. 2015). Unter den abiotischen Prozessen spielen Adsorptionsreaktionen eine maßgebliche Rolle bei der Abnahme der messbaren Gehalte zahlreicher Tierarzneimittel (Arikan et al. 2007, 2009a, Aust et al. 2008, Bao et al. 2009, Kim et al. 2011), z.B. 30 % bei Simazin (Hartlieb et al. 2003). Die Kompostierung generiert neue Adsorptionsstellen im Substrat (Hartlieb et al. 2003, Liu et al. 2015) bzw. begünstigt die Komplexbildung durch Bildung von Säuren (Gu et al. 2007, Kim et al. 2012a, Ho et al. 2013). Diese Prozesse begünstigen weitere Adsorptionsreaktionen, welche die Immobilisierung von bestimmten Tierarzneimitteln verstärken. Aerobe Lagerung und Kompostierung wirken sich positiv auf die Reduzierung der Östrogengehalte in Wirtschaftsdüngern aus, mit Abbauraten von ca. 80-95 % innerhalb von zwei bis drei Monaten (Schlenker et al. 1999, Zheng et al. 2008, Le et al. 2013).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Bei der Kompostierung von Wirtschaftsdüngern sind auch andere positive wie negative Effekte zu beachten, die andere Schutzgüter betreffen. Im positiven Sinne kann ein starker Temperaturanstieg bei der Kompostierung zu einer weitgehenden Hygienisierung des Düngemittels führen, vorausgesetzt es werden mindestens 50 °C über einen Zeitraum von sechs Wochen gehalten (bzw. zwei Wochen bei 55 °C) (z.B. Franke-Whittle & Insam 2013). Im negativen Sinne kann die Kompostierung von Wirtschaftsdüngemitteln tierischer Herkunft mit erheblichen Klimagasemissionen verbunden sein, wenn diese nicht eingehäust und mit einer Abluftreinigung versehen erfolgt. Die Nährstoffverluste sind deutlich stärker als bei einer passiven Lagerung von Festmisten. Die Stickstoffverluste wirken sich zum einen auf die Mengen an Stickstoff die für die Düngung zur Verfügung stehen, welche um 30 bis 60 % abnehmen. Insgesamt sinken – abgesehen von sehr strohigem Material – die insgesamt zur Verfügung stehenden N-Mengen sowie die N-Düngewirksamkeit der verbleibenden N-Bestandteile. Die mittel- und langfristige N-Effizienz als Summe der Direkt- und Nachwirkungen vermindert sich je nach Substrat von 50 bis 60 % (im Extremfall 70 %) auf Werte von 20 bis 40 % der applizierten N-Mengen, sodass sich mehrere negative Wirkungen aufaddieren. Zudem steigt die Eutrophierungs- und Versauerungsgefahr benachbarter Ökosysteme durch gasförmige NH₃-Emissionen. Eine Kompostierung ist ähnlich wie die passive Lagerung insgesamt mit einigen win-win-Beziehungen, aber mit mehreren win-loss-Beziehungen verbunden.

5.4 Maßnahme: Anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdüngern

Beschreibung

Nahezu sämtliche Wirtschaftsdünger sind grundsätzlich geeignet zu einer Vergärung in einer Biogasanlage, stapelfähige wie flüssige. Bei der anaeroben Vergärung wird organische Masse unter Luftabschluss zu Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) abgebaut. In der Regel werden Biogasanlagen in einem Temperaturbereich zwischen 37 und 45 °C (mesophil) bzw. zwischen 50 und 55 °C (thermophil) geführt. Der Vergärungsprozess führt unter anderem zu einer Verringerung der Gehalte an organischer Masse welches zur Mobilisierung adsorbierter Tierarzneimittel führt, die im Zuge der Fermentierung abgebaut werden können. Des Weiteren steigt der pH-Wert des Substrates (Möller & Müller 2012, Sheets et al. 2015).

Im Jahre 2010 wurden in Deutschland ca. 29 % der Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft anaerob vergoren (Foged et al. 2011), demnach besteht erhebliches Potential, diese Maßnahme auszuweiten, um die Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt voranzubringen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die anaerobe Vergärung beschleunigt ähnlich wie die Kompostierung die Reduzierung der messbaren Gehalte von zahlreichen Tierarzneimitteln (z.B. Tetrazyklin, Oxytetrazyklin, Ciprofloxacin, Tylosin, Progesteron, etc). Mittlere bis hohe Abbaugrade wurden für Tierarzneimittel aus den Gruppen der Tetrazyklinen, Sulfonamiden, Fluorchinolone und Makroliden gezeigt (Tabelle 6). Allerdings ist die anaerobe Vergärung bei bestimmten Wirkstoffen weniger effizient als die Kompostierung oder passive Lagerung von stapelfähigen Wirtschaftsdüngemitteln (z.B. Chlortetrazyklin, Östrogene). Der Stand der Forschung ist derzeit jedoch zum Teil widersprüchlich (z.B. für β-Laktame). Der Abbau der messbaren Gehalte an Wirkstoffen aus der Gruppe der Schmerzmittel Acetaminophen (Paracetamol), Ibuprofen und Diclofenac ist eher gering. Monensin scheint sehr stabil zu sein und wird weder bei der Kompostierung noch bei der anaeroben Vergärung abgebaut bzw. inaktiviert.

Die Abnahme der gemessenen Werte an Tierarzneimitteln kann – ähnlich wie bei der Kompostierung – sowohl auf Degradation als auch auf starke Adsorption an die funktionellen Gruppen der organischen Masse (z.B. Tetrazyklin, Doxyzyklin, Clindamycin) zurückgeführt werden (Wu et al. 2008, Álvarez et al. 2010, Massé et al. 2014). Der Abbau von Tierarzneimitteln ist sehr stark von der jeweiligen Löslichkeit in der wässrigen Phase abhängig (Álvarez et al. 2010). Beim Oxytetrazyklin werden im Wesentlichen nur die wasserlöslichen Anteile abgebaut, ohne dass es zu einer nennenswerten Desorption von adsorbierten Anteilen kommt, während bei Chlortetrazyklin auch erhebliche Anteile der adsorbierten Fraktion in Lösung gehen und den Abbauvorgängen in der Flüssigphase ausgesetzt sind (Álvarez et al. 2010). Ähnliches gilt für Tylosin (Angenent et al. 2008). Die verschiedenen Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonamide verhalten sich trotz ähnlicher Grundstruktur sehr unterschiedlich im Biogasfermenter: Sulfadiazin, Sulfamerazin, Sulfamethoxazol und Sulfadimethoxin werden rasch abgebaut, während Sulfamethazin und Sulfathiazol nicht abgebaut werden (Mohring et al. 2009). Fluorchinolone (Ciprofloxacin, Norfloxacin) werden während der Vergärung nicht abgebaut, sondern durch Adsorption weitgehend inaktiviert (Golet et al. 2003) und aus der Flüssigphase entfernt (Golet et al. 2002). Aufgrund der starken Sorptionsneigung zahlreicher Wirkstoffe spielt bei der anaeroben Vergärung der Abbau der organischen Masse eine wichtige Rolle. Bei einem Abbau der organischen Masse werden adsorbierte Tierarzneimittel mobilisiert, das heißt sie treten in die flüssige Phase über, und sind anschließend den chemischen und biologischen Abbauprozessen im Fermenter ausgesetzt.

Anders als bei der Kompostierung sind die Angaben zum Abbau von Östrogenen im Biogasfermenter sehr widersprüchlich. Das Abbauverhalten von Östrogenen in der Umwelt ist relativ kompliziert. Sie werden über den Urin in biologisch inaktiver, gebundener Form und über Kot in freier, biologisch aktiver Form ausgeschieden (Larsson et al. 1999). Der Abbau von körpereigenen Östrogenen und Transformation des Hormons von gebundener zu freier, biologisch aktiver Form laufen parallel ab (Baronti et al. 2000, Fujii et al. 2002, Des Mes et al. 2008), wobei letzteres auch zu einem Anstieg ihrer hormonellen Aktivität in Gärresten im Vergleich zu den Inputstoffen führen kann (Matsui et al. 2000, Andersen et al. 2003, Johnson & Williams 2004, Zhao et al. 2009, Le et al. 2013). Neuere Untersuchungen legen zudem nahe, dass die Abbauvorgänge unter oxidischen und anoxischen Bedingungen an unterschiedlicher Stelle ansetzen (Zheng et al. 2013). Bei Progesteron aus der Gruppe der Gestagenen sinken während einer anaeroben Vergärung die Konzentrationen erheblich (Esperanza et al. 2007, Musson et al. 2010).

Die Wirkung der Vergärungstemperatur, also die Frage ob thermophiler oder mesophiler Betrieb der Biogasanlage sich auf die Reduktion der messbaren Gehalte an Tierarzneimitteln auswirkt, sind widersprüchlich (Carballa et al. 2007, Varel et al. 2012). Mit steigenden Verweilzeiten wurde eine erhöhte Abbauleistung im Biogasfermenter gezeigt (Mitchell et al. 2013).

Eine in der Praxis wichtige Behandlungsoption von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft in Biogasanlagen ist die Zumischung von – unbelasteten – Substraten nachwachsender Rohstoffe (NawaRo) zur Erhöhung der spezifischen Energieausbeuten. Die Zumischung und Vergärung von faserreichen Substraten wie Mais erfordert verlängerte hydraulische Verweilzeiten im Biogasfermenter und führt zu einer Verdünnung von Tierarzneimitteln im Substrat. Es liegen keine Untersuchungen über die möglichen Auswirkungen der Zumischung von NawaRo-Substraten zu mit Tierarzneimitteln belasteten Wirtschaftsdüngern im Biogasfermenter vor. Einerseits könnten längere Verweilzeiten zu einem stärkeren Abbau von Tierarzneimitteln führen, zugleich dürfte jegliche Zufuhr wasserhaltiger Biomasse zu einer teilweise Lösung von adsorbierten Tierarzneimitteln führen (Löslichkeitsprodukte), die dann den Abbauvorgängen im Substrat ausgesetzt werden. Andererseits führt die Zufuhr von nicht abbaubarer organischer Masse zu einem Anstieg der potentiellen Adsorptionsstellen im Substrat und damit zu einer stärkeren Adsorption von Tierarzneimitteln mit hoher Sorptionsneigung. In jedem Fall müssen Gärreste aufgrund der Nährstoffbegrenzungen nach der neuen DüV bei Ausbringung über eine größere Fläche verteilt werden, was die Konzentration der Tierarzneimittel pro Hektar verringern würde.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Bei der anaeroben Vergärung von Wirtschaftsdüngern sind jedoch – neben der Hygienisierungswirkung und dem Abbau zahlreicher Tierarzneimittel – auch andere Effekte zu beachten, die teilweise auch andere Schutzgüter betreffen: Vorteile sind neben der starken Hygienisierungswirkung der weitgehende Erhalt aller Nährstoffe im System sodass keine Veränderung im Nährstoffspektrum eintreten, eine Verringerung der NO_x und CH_4 -Emissionen während der Lagerung, der Ersatz fossiler Energieträger durch regenerative Energien sowie eine Verringerung der Geruchsemissionen. Pflanzenbauliche Vorteile sind eine Erhöhung der N-Düngewirkung von stapelbaren Substraten (Festmiste, aber auch pflanzliche Biomasse) und zumindest theoretisch auch eine Erhöhung der N-Düngewirkung von Flüssigdüngemitteln im Jahr der Anwendung (Möller & Müller 2012, Sheets et al. 2015). Nachteil ist das hohe nachfolgende NH_3 -Emissionsrisiko (ggf. auch N_2O aus gelagerten Feststoffen) während des gesamten Düngermanagements einschließlich der Ausbringung. Die anaerobe Vergärung ist eine wichtige Voraussetzung zur Anwendung von Techniken zur teilweisen Entfernung von Makronährstoffen (z.B. Stickstoff, Phosphor), und könnte damit in Zukunft größere Bedeutung bei der Entfrachtung regionaler Nährstoffkreisläufe erfahren.

5.5 Maßnahme: Aufwändigere Ansätze der Flüssigmistzwischen- und -nachbehandlung

Beschreibung

Derzeit werden zahlreiche Ansätze zur Behandlung von Flüssigdüngemitteln (Gülle, Gärreste) eingesetzt oder entwickelt. Teilweise dienen diese auch der Vorbehandlung der Wirtschaftsdünger vor Vergärung in einem Biogasfermenter. Dies erschwert eine systematische Aufzählung, da zahlreiche Verfahren sowohl eigenständige Behandlungsverfahren darstellen (z.B. Güllebelüftung, Fest-Flüssig-Trennung, Strippung) als auch der Vor- oder Nachbehandlung von Gärsubstraten bzw. Gärresten in Biogasanlagen dienen können.

Reine Vorbehandlungsverfahren sind die Beimischung von anderen Substraten zu Wirtschaftsdüngern zur Erhöhung der spezifischen Gaserträge und/oder zur Verdünnung von N-reichen Substraten wie Getreide, Hühnertrockenkot oder Geflügelmist zur Abwendung möglicher Ammoniaktoxizitäten im Fermenter. Eine weitere, bislang wenig bekannte und kaum eingesetzte Methode ist der Zusatz von Enzymen zur sog. Desaminierung (chemische Abspaltung einer Aminogruppe als Ammoniak) von N-reichen Substraten (z.B. Wirtschaftsdünger aus der Geflügelhaltung). Diese Vorbehandlungsmethode bewirkt eine weitgehende Mineralisierung von organischen N-Verbindungen und ermöglicht eine weitgehende N-Entfrachtung, wenn sie mit einer anschließenden Ammoniakstrippung kombiniert wird. In Zukunft könnte die Kombination beider Maßnahmen eine wichtige Voraussetzung zur umweltfreundlichen Behandlung von Wirtschaftsdüngemitteln darstellen (siehe unten „Ammoniakstrippung“ in Kapitel 5.5.3), da sie u.a. Reststoffe mit deutlich geringerer Pufferkapazität und damit leichterer Manipulierbarkeit des pH-Wertes erzeugt und zugleich die starke N-Emissionsgefahr während der gesamten nachfolgenden Behandlungskette erheblich verringern würde. Eine starke Veränderung des pH-Wertes sowohl nach oben als nach unten könnte mit der Förderung des Abbaus bestimmter Tierarzneimittel einhergehen (siehe Kapitel 5.1), niedrige pH-Werte erhöhen auch die Löslichkeit von ortho-Phosphat und damit die Möglichkeiten einer selektiven P-Ausfällung.

Alle weiteren hier beschriebenen Verfahren können sowohl als Vorbehandlungs- oder Nachbehandlungsverfahren einer anaeroben Vergärung eingesetzt werden.

5.5.1 Fest-Flüssig-Separierung

Beschreibung

Eine Fest-Flüssig-Separierung wird immer häufiger angewendet und kann unterschiedliche Ziele verfolgen (Foged et al. 2011). Sie wird zur Vorbehandlung von Gülle vor einer Weiterverarbeitung (Vergärung, Trocknung) als auch zur Nachbehandlung von organischen Flüssigdüngemitteln einschließlich Gärresten eingesetzt (Hjorth et al. 2010, Foged et al. 2011, Hansen et al. 2015). Bei der mechanischen Separierung von Flüssigdüngern werden Pressschneckenseparatorn oder Dekanterzentrifugen verwendet um eine jaucheähnliche Flüssigfraktion mit geringen Gehalten an Trockenmasse und eine Festfraktion mit Trockenmasse-Gehalten zwischen 20 und 30 % zu erzeugen (Hjorth et al. 2008, 2010, Foged et al. 2011). Die organische Masse sowie die Nährstoffe Phosphor, Magnesium und Calcium so wie viele Tierarzneimittel gelangen vor allem in die feste Fraktion, wohingegen sich Stickstoff und Kalium sich gleichmäßig aufteilen (Hjorth et al. 2008, 2010, Foged et al. 2011). Mit einer Fest-Flüssig-Trennung werden mehrere Ziele verfolgt:

- ▶ Verbesserung der Eigenschaften der Flüssigphase für Ausbringung oder Weiterbehandlung (z.B. Membranverfahren, Ammoniakstrippung, Struvitfällung),

- ▶ Erhöhung der Stickstoff-Effizienz durch Verringerung des C/N-Verhältnisses in der Flüssigphase,
- ▶ gezieltere Ausbringung von Nährstoffen aus Wirtschaftsdüngern gemäß des spezifischen Nährstoffbedarfs bestimmter Kulturen bzw. Standorte (z.B. Feststoffe zu Ackerflächen wegen der Phosphor- und Humuswirkung) unter Einbeziehung des Nährstoffspektrums, dem Verhältnis der verschiedenen Nährstoffe zueinander,
- ▶ Volumenreduktion für den Nährstoffexport.

Die einfache Fest-Flüssig-Trennung stellt bei aufwändigeren Aufbereitungsverfahren meistens den ersten Schritt der Verfahrenskette dar, auf die eine Weiterverarbeitung folgen kann (Hjorth et al. 2010, Alitalo 2014).

Für Feststoffe aus der Fest-Flüssig-Trennung stehen verschiedene Verfahrensoptionen offen, wie Kompostierung (Kapitel 5.3), oder Trocknung mit anschließender Pelletierung. Diese Behandlungsoptionen gehen mit einer Aufkonzentrierung von Mineralstoffen (insbesondere Phosphor) und aufgrund der hohen NH_4^+ -Gehalte mit ausgesprochen hohen N-Verlusten einher, und sind mit einer erheblichen Reduzierung der N-Düngewirkung verbunden. Die dabei erzeugten Pellets weisen eine hohe Transportwürdigkeit auf (Entlastung regionaler Nährstoffkreisläufe) und können entweder zu Düngerzwecken als vorwiegende „Phosphor- und Humusdünger“ oder als Brennstoff verwendet werden.

Die Flüssigseparate können ebenso durch Ammoniakstrippung, Phosphorausfällung oder in Membranverfahren zu unterschiedlichen Zwecken aufbereitet werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Bei einer Fest-Flüssig-Trennung als wichtigste Vor- und Nachbehandlungsverfahren von Wirtschaftsdüngemitteln dürften sich Tierarzneimittel mit starker Sorptionsneigung an Oberflächen überwiegend in der Festphase wiederfinden. Dies wurde z.B. für zahlreiche Steroidhormone (Progesteron, Estrone, 17α -Estradiol, 17β -Estradiol) nachgewiesen (Le et al. 2013, Hansen et al. 2015). Die Festphase kann gezielt einer Weiterbehandlung unterzogen werden, wie z.B. einer Kompostierung (z.B. Hansen et al. 2015). Untersuchungen, welche eine Reduktion von Tierarzneimitteln aufgrund dieser Weiterbehandlung betrachten, sind nicht bekannt. Die Fest-Flüssig-Trennung macht ein differenziertes Management der Teilfraktionen möglich. Zur Reduzierung der Gefahr einer Abschwemmung von Tierarzneimitteln könnten die geringer belasteten Flüssigseparate ggf. als Kopfdünger verwendet werden. Feststoffe sollten dort appliziert werden, wo eine unmittelbare Einarbeitung möglich ist. Eine Brennstoffnutzung von Pellets führt zu einer Zerstörung von Tierarzneimitteln.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Negative Effekte der Methode auf andere Schutzgüter können von den separierten Feststoffen ausgehen. Diese enthalten unmittelbar nach der Separierung erhebliche Gehalte an Ammonium-N. Daher besteht bei deren Management ein stark erhöhtes N-Emissionsrisiko (Lachgas, Ammoniak) (Petersen et al. 1998, Hansen et al. 2006, Petersen & Sørensen 2008), zugleich sinkt deren N-Düngewirkung.

5.5.2 Trocknung

Beschreibung

Durch Trocknung der festen Phase aus der Fest-Flüssig-Trennung werden lagerfähige und vermarktbar Düngemittel mit hohen Nährstoffkonzentrationen hergestellt. Hierbei können Heiß- oder Kaltlufttrocknung eingesetzt werden, wie Bandtrockner, Trommeltrockner, Schubwendentrockner und Wirbelschichttrockner. Bei den Heißluftverfahren wird das Trocknungsgut Temperaturen von über 80 °C ausgesetzt. Hierbei entsteht eine Abluft, die Ammoniak, flüchtige organische Verbindungen und Staub enthält. Diese Abluft ist mit Gesundheitsrisiken verbunden, welche bei Anwendung von Vakuumverfahren vermieden werden können. Die Trocknung findet hierbei bei Temperaturen von 50 bis 60 °C statt. Durch den angelegten Unterdruck werden flüchtige Bestandteile und Wasser aufgefangen. Das Ammonium, welches in der so entstandenen flüssigen Phase enthalten ist, kann durch dieses Verfahren zurückgewonnen werden. Trocknung mit überhitztem Wasserdampf (> 100 °C) ist eine energieeffiziente Variante, die den spezifischen Energieverbrauch halbieren kann (Mujumdar 1990, Kudra & Mujumdar 2002, Desai & Hoadley 2009). Das Trockengut eignet sich auch als Brennstoff zur Erzeugung von Energie.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Es wurden keine Berichte gefunden, die die Wirkung von Trocknung auf Tierarzneimitteln zum Gegenstand hatten. Es sind zwei Wirkungsmechanismen denkbar: Die Temperatureinwirkung bewirkt eine Inaktivierung empfindlicher Wirkstoffe, zugleich führt der Wasserentzug zur verstärkten Adsorption von Wirkstoffen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Trocknung bedarf hoher Mengen an Prozesswärme, hierzu eignet sich ggf. die Wärme aus Blockheizkraftwerken, insbesondere während der Sommermonate, wenn ggf. keine alternative Nutzung der Restwärme zur Verfügung steht. Die Trocknung ist mit einer starken Reduzierung der NH_4^+ -Gehalte durch NH_3 -Entgasung verbunden sofern keine Säurebehandlung vorangestellt wird. Aus dem Grunde sollte die Trocknung immer mit einer entsprechenden Gaswäsche zur Produktion eines NH_4^+ -Salzes (am besten bevorzugt Ammoniumhydrogencarbonate) verbunden werden. Unter dieser Voraussetzung ist die Trocknung unmittelbar nach einer Fest-Flüssig-Separierung eine sehr gute Möglichkeit, N-Verluste und GHG-Emissionen aus den separierten Feststoffen sehr stark zu reduzieren. Bei einer Verbrennung entweichen Stickstoff und Schwefel gasförmig, und die Phosphorverbindungen werden in rohphosphatähnliche, nicht-pflanzenverfügbare Formen überführt.

5.5.3 Ammoniakstrippung

Beschreibung

Ziel der Ammoniakstrippung ist die Herstellung eines hoch konzentrierten N-Mineraldüngers und eines teilweise N-reduzierten Flüssigdüngers. Durch Erhöhung der Temperatur auf Werte > 50 °C und Erhöhung des pH-Wertes im Substrat auf Werte zwischen 9,0 und 11,0 wird das Gleichgewicht zwischen $\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$ (oder genauer zwischen $\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) in Richtung NH_3 verschoben (Alitalo 2014, Guštin & Marinšek-Logar 2011, Bonmati & Flotats 2003). Dadurch wird der NH_3 -Dampfdruck erhöht, Stickstoff entweicht gasförmig und kann durch eine Gaswäsche u.a. als Ammoniumhydrogencarbonat (NH_4HCO_3), Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), Ammoniumnitrat

(NH_4NO_3) oder Ammoniumphosphat ($(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$) wiedergewonnen werden. Ein Anstieg des pH-Wertes auf Werte $> 8,5$ kann durch Anwendung von Laugen (NaOH, KOH), von Branntkalk (CaO) oder durch eine CO_2 -Entgasung erreicht werden (Guštin & Marinšek-Logar 2011, Alitalo 2014). Durch Einblasen von Luft oder Ansatz eines Unterdrucks entweicht aufgrund des hohen Dampfdrucks CO_2 und dadurch wird das Gleichgewicht $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ unter Protonenverbrauch in Richtung CO_2 verschoben. Die Ammoniakstrippung kann ggf. mit einer vorausgegangenen Anwendung von Enzymen zur Desaminierung von organischen Stickstoff- bzw. Amino-N-Verbindungen verbunden werden, um als Vorbehandlungsmaßnahme z.B. einer NH_3 -Toxizität im Biogasfermenter (z.B. bei N-reichen Substraten wie Geflügelkot) vorzubeugen. Die Ammoniakstrippung ist eine relativ kostengünstige Methode zur selektiven N-Entfrachtung von Wirtschaftsdüngemitteln, da ein weitgehend N-entfrachteter Flüssigmist und ein hochkonzentriertes Ammoniumsalz hergestellt werden. Die Ammoniumsalze haben eine hohe Lager- und Transportwürdigkeit, und können durch Transport aus N-Überschussregionen kostengünstig entfernt werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimittleinträge in die Umwelt

Es wurden keine Untersuchungen zur Wirkung der Ammoniakstrippung auf die Konzentrationen an Tierarzneimitteln gefunden. Denkbar ist, dass sowohl die hohen Temperaturen als auch die Erhöhung des pH-Wertes zu einem teilweise Abbau von Schadstoffen führen kann, z.B. durch Beeinflussung ihrer pH-Wert abhängigen Löslichkeit, durch höhere Abbaubarkeiten im Fermenter oder durch direkte Inaktivierung hitzelabiler Wirkstoffe. Die weitgehende Entfernung von Ammonium verringert in einem entsprechenden Maße auch das Puffervermögen des Substrates und könnte in Zukunft auch Verfahren ermöglichen, die biogen oder durch Zusatz von Säuren eine Einsäuerung des Substrates ermöglichen, und die Löslichkeit von Wirkstoffen mit niedrigem pKa-Wert beeinflusst und zugleich z.B. eine weit stärkere P-Abtrennung ermöglicht.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Ammoniakstrippung bedarf hoher Mengen an Prozesswärme, hierzu eignet sich ggf. die Wärme aus Blockheizkraftwerken, insbesondere während der Sommermonate, wenn ggf. keine alternative Nutzung der Restwärme zur Verfügung steht. Ggf. werden auch Laugen zur Erhöhung des pH-Wertes im Substrat benötigt, allerdings führt dies zu einer Reduzierung des Kalkbedarfs auf den Ackerflächen und stellt eher eine Verschiebung als ein Zusatzaufwand dar. Die Ammoniakstrippung ist mit einer starken Reduzierung der NH_4^+ -Gehalte durch NH_3 -Entgasung verbunden. Die Strippung des Ammoniaks reduziert die Gefahr von N-Emissionen in der gesamten nachfolgenden Kette des Wirtschaftsdüngermanagements (z.B. Lagerung, Ausbringung). Zudem kann durch diese Maßnahme eine weitgehende Trennung der organischen Bestandteile und den mineralischen N-Verbindungen aus Wirtschaftsdüngern erreicht werden; dies bietet interessante Möglichkeiten einer Effizienzsteigerung der gesamten N-Düngung, da leicht lösliche N-Salze zeitlich und räumlich von den übrigen Bestandteilen der Wirtschaftsdüngemittel, die kurzfristig eher die N-Wirksamkeit behindern, ausgebracht werden könnten. Die Produktion von Ammoniumsulfat ist derzeit die gängige Methode der NH_4^+ -Rückgewinnung solcher Verfahren, dabei entsteht ein N- und S-Düngemittel. In Flüssigmisten liegt NH_4^+ in der Regel in Assoziation mit Bicarbonaten und Carbonaten vor, diese puffern die versauernde Wirkung des NH_4^+ : diese Pufferwirkung ist bei Sulfaten dagegen nicht mehr gegeben, es steigt der Kalkungsbedarf. Da zudem der S-Bedarf unserer Kulturen deutlich niedriger als der N-Bedarf ist, würde eine konsequente Anwendung dieser Maßnahme auf alle Flüssigmiste eines Betriebes ggf. zusätzlich zu einer S-Überdüngung führen. Sulfate werden im Boden ähnlich wie Nitrat rasch ausgewaschen, verstärken die Versauerung und beeinträchtigen zusätzlich die Trinkwasserqualität. Daher sollten bevorzugt andere NH_4^+ -Salze hergestellt werden, optimalerweise Ammoniumhydrogencarbonate.

5.5.4 Phosphorfällung

Beschreibung

Ziel des Verfahrens ist die Herstellung eines mineralischen Phosphordüngers (Calciumphosphat oder Struvit). Dieses wird durch die Erhöhung des pH Wertes sowie die Zugabe von Calcium oder Magnesium erreicht. Durch Zufuhr von mehrwertigen Kationen (meistens Ca^{2+} , Mg^{2+}) und ggf. Kristallisationskernen (z.B. Si) und Erhöhung des pH-Wertes auf Werte $> 8,5$ können die gelösten Phosphationen aus der Flüssigphase unter Bildung von Ca-Phosphaten und/oder Struvit entfernt werden und ein teilweise P-entfrachteter Gärrest erzeugt werden. Der pH-Wert kann mit ähnlichen Methoden wie bei der Ammoniakstrippung manipuliert werden. Die Effizienz der P-Fällung kann durch eine vorangegangene Reduzierung des pH-Wertes auf Werte zwischen 4 und 5 zur Mobilisierung adsorbierter Phosphorverbindungen erheblich erhöht werden. Der dazu notwendige Säureverbrauch wird im Wesentlichen von den Ammoniumgehalten bestimmt.

Phosphorfällungsverfahren ermöglichen die Produktion von P-Düngemitteln mit hoher Transportwürdigkeit und im Falle von Struvit mit sehr hoher P-Pflanzenverfügbarkeit, ähnlich der eines wasserlöslichen mineralischen Phosphordüngemittels.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Untersuchungen zur Wirkung der P-Fällung auf Konzentration und Abbau von Tierarzneimitteln wurden nicht gefunden. Grundsätzlich sind ähnliche Wirkungen wie bei der Ammoniakstrippung denkbar. Wird eine Einsäuerung als Zwischenbehandlung vorgesehen, könnte dies das Wirkungsspektrum verbreitern, z.B. durch Lösung von Tierarzneimittel und anderen Schadstoffen mit niedrigerem pKa-Wert aus dem Sorptionskomplex und anschließender Degradierung.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Phosphorfällung ist mit einem deutlichen technischen und energetischen Mehraufwand verbunden, zudem werden ggf. Mg-Salze zur Herstellung entsprechender Nährstoffverhältnisse nötig.

5.5.5 Aufkonzentrierung durch Membranverfahren

Beschreibung

Zu den Membranverfahren gehören die Nano- und Ultrafiltration sowie die Umkehrosiose (Homem & Santos 2011). Bei der Filtration mit anschließender Umkehrosiose handelt es sich um Trennverfahren, bei dem nach einer vorangegangenen Fest-Flüssig-Trennung aus der Flüssigphase Feinpartikel und gelöste Elemente und Stoffe wie Ammonium und organische Verbindungen abgetrennt werden können (Massé et al. 2007, 2008, Sheets et al. 2015). Dabei entsteht einleitfähiges Wasser sowie ein eingedicktes, mengenreduziertes Wirtschaftsdüngerkonzentrat, welches durch den erhöhten Nährstoffgehalt eine höhere Transportwürdigkeit hat, wobei Parameter wie Temperatur, pH-Wert und Redox-Potential nicht manipuliert werden müssen. Membranprozesse bewirken nur geringe chemische (Löslichkeitsprodukt) und keine thermischen Veränderungen der behandelten Substrate.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Aufkonzentrierung von Wirtschaftsdüngemitteln mittels Membranverfahren trennt sehr effizient Tierarzneimittel vom Wasser mit Abtrennungsraten von 90 % und darüber (Adams et al. 2002, Kosutic et al. 2007, Li et al. 2004, Radjenovic et al. 2008). Die Tierarzneimittel befinden sich nach der Behandlung im Konzentrat. Durch Reduzierung der Wassergehalte ist davon auszugehen, dass der Anteil adsorbierter Tierarzneimittel steigt. Wird zur Erhöhung der P-Ausscheidungsrate eine Säuerung vorangesetzt, sind ähnliche Wirkungen wie bei der Ansäuerung denkbar, mit dem Unterschied, dass die Einwirkdauer deutlich länger wäre.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Membranverfahren haben einen sehr hohen Energiebedarf, zudem stellen sie hohe Anforderungen an die Betriebsleiterqualifikation. Fernerhin sind in regelmäßigen Abständen die entsprechenden Membranen auszutauschen.

5.5.6 Ansäuerung

Beschreibung

Um gasförmige N-Verluste zu reduzieren und somit die Stickstoffeffizienz zu erhöhen, können Flüssigmiste oder Flüssigseparate durch die Behandlung mit starken Säuren eingesäuert werden. In der Regel wird Schwefelsäure (H_2SO_4) zugemischt. Es können aber auch andere Säuren wie Salpetersäure oder Phosphorsäure eingesetzt werden. Hierbei reduziert sich der pH-Wert auf Werte zwischen 5,0 und 5,5. Starke Säuren verdrängen dabei die schwache Säure CO_2 bzw. HCO_3^- und CO_3^{2-} unter Bildung von CO_2 . Dabei wird in das Gleichgewicht zwischen Ammoniak und Ammonium zum Letzteren hin verschoben.

Die Anwendung findet meistens während der Ausbringung durch Zumischung von Säure in den Verteilerkopf des Ausbringungsgerätes statt. Durch die Verringerung des pH-Wertes gehen Phosphat sowie andere Elemente in Lösung und können so von Pflanzen direkt aufgenommen werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Zu den Auswirkungen der Absenkung des pH-Wertes der Flüssigmiste um zwei bis drei Einheiten auf Löslichkeit und Abbauverhalten von Tierarzneimitteln wurden keine Untersuchungen gefunden. Allerdings sind einige Wirkungen denkbar. Die Löslichkeit gerade von Tierarzneimitteln mit niedrigem pKa-Wert könnte durch niedrigere pH-Werte deutlich steigen. Bereits oben wurde darauf hingewiesen, dass Wirkstoffe mit einem sehr niedrigem pKa-Wert wie Ibuprofen (pKa: 4,5–5,2), Diclofenac (pKa: 4,15), Imidazol (pKa: 2,5), Naproxen und Östrogene unter üblichen pH-Bedingungen in Flüssigmisten geladene Moleküle mit hoher Sorptionsneigung bilden, unter sauren pH-Bedingungen vermindert sich deren Sorptionsneigung relativ stark durch zunehmende Aufnahme von Protonen (Lund 1994, Castela-Papin et al. 1999, zitiert nach Loke et al. 2002, Carballa et al. 2008), und damit deren Bioverfügbarkeit. Eine höhere Bioverfügbarkeit kann einerseits negative Wirkungen haben, andererseits unterliegen gelöste Tierarzneimittel potentiell auch den Abbauprozessen. Ein tiefer pH-Wert könnte während der Lagerung/Behandlung jedoch auch direkt Abbauvorgänge beeinflussen. Allerdings wurden dahingehende Angaben nur für höhere pH-Werte im leicht alkalischen bis alkalischen Bereich gefunden, nicht jedoch für den sauren pH-Bereich. Eine Verstärkung der Wirkung wäre durch Implementierung einer Behandlungskaskade denkbar, indem Wirtschaftsdünger zu Beginn der Lagerung bzw. Behandlung mit starken Säuren zum Aufschluss der organischen Masse (z.B. zur Erhöhung der nachfolgenden Biogaserträge oder für

eine stoffliche Nutzung der organischen Bestandteile), gefolgt von einer Fest-Flüssig-Trennung und anschließender anaeroben Vergärung. Die Einsäuerung würde eine Mobilisierung von Phosphor bewirken und mutmaßlich die teilweise zur Desorption von organischen Schadstoffen einschließlich Tierarzneimitteln führen, die anschließende Fest-Flüssig-Trennung die organische Masse als Bindungsstellen weitgehend entfernen und bei der anschließenden anaeroben Vergärung der Flüssigphase wären alle gelösten Stoffe den Prozessen im Medium ausgesetzt. Solche aufwändigen Kaskaden sind langfristig wirtschaftlich nur denkbar bei einer überwiegend stofflichen Nutzung der organischen Masse.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Bei der Ansäuerung von Flüssigmisten beschleunigt der Schwefelsäureeinsatz die Bodenversauerung, da die basische Wirksamkeit von Flüssigdüngermitteln im Wesentlichen auf ihre HCO_3^- -Gehalte zurückzuführen ist, die bei der H_2SO_4 -Zugabe durch Sulfatanionen ersetzt werden. Diese Wirkung kann durch eine übermäßige Zugabe von Schwefel (S-Überdüngung) und eine daraus folgende Auswaschung von Schwefel verstärkt werden, da dabei Kationen in äquivalenter Menge ausgewaschen werden und Protonen im Oberboden zurückbleiben. Diese negativen Wirkungen könnten z.B. durch Verwendung von Salpetersäure umgangen werden.

5.5.7 Verdünnung

Beschreibung

Verdünnung mit Wasser: Durch Wasserzugabe wird die Infiltration des Materials in den Boden beschleunigt und die Konzentration an Ammonium verringert, wobei beides die Gefahr von NH_3 -Emissionen reduziert. Allerdings ist diese Maßnahme mit einem erheblichen logistischen Mehraufwand bei der Ausbringung verbunden und wird daher in der Praxis nicht angewendet.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Es ist davon auszugehen, dass eine Verdünnung zu einer teilweise Desorption von adsorbierten Tierarzneimitteln führen kann.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Eine Verdünnung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft erhöht den Transportaufwand und damit die Druckbelastung der Böden.

5.5.8 Flüssigmistbelüftung

Beschreibung

Bei der Flüssigmistbelüftung wird aktiv Umgebungsluft in den Flüssigmist eingeblasen. Bei der Belüftung werden neben einer Zufuhr von Sauerstoff und einer damit verbundenen Erhöhung des Redoxpotenzials zunächst beträchtliche Mengen an gelöstem HCO_3^- als CO_2 aus der Gülle bzw. dem Gärrest ausgetrieben, denn CO_2 weist eine deutlich höhere Flüchtigkeit als andere Gase wie Ammoniak auf (Husted et al. 1991). Dies führt zunächst zu einem moderaten Anstieg des pH-Wertes im behandelten Material. Denn der pH-Wert von Flüssigmisten wird maßgeblich vom Zusammenspiel von HCO_3^- und NH_4^+ bestimmt, bzw. von $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{lösl.}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{gasf.}) \uparrow$ und $\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NH}_3(\text{lösl.}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{gasf.}) \uparrow$. Dabei wirkt CO_2 pH-Wert-absenkend und NH_3 pH-Wert-steigernd. Durch die

Entgasung von CO₂ durch den Luftstrom bei der Belüftung wird somit dem Flüssigdünger Säureäquivalent entzogen. Sowohl die Entgasung von Ammoniak als auch die Fällung von Struvit wirken allerdings diesem pH-Wert-Anstieg entgegen. Nach Abschluss der Behandlung kommt es als Folge des anaeroben Abbaus von organischer Masse und einer damit einhergehenden CO₂-Neubildung im Flüssigmistlager zu einer moderaten Absenkung des pH-Wertes. Man verspricht sich durch Belüftung eine aerobe Stabilisierung des Materials und die Verhinderung von anaeroben Fäulnis- bzw. Fermentationsvorgängen und damit u.a. eine (angeblich) bessere Pflanzenverträglichkeit.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Unter aeroben Bedingungen werden die Abbauvorgänge von zahlreichen Tierarzneimitteln in Flüssigmisten beschleunigt (Kühne et al. 2000, Thiele-Bruhn 2003, Kolz et al. 2005, Wang et al. 2006). Kühne et al. (2000) stellten in belasteter Schweinegülle für Tetracyclin einen stärkeren Abbau in belüfteten Proben (Halbwertszeit 4,5 Tage) im Vergleich zu unbelüfteten (Halbwertszeit neun Tage) fest. Auch Tylosin wird rascher bei Belüftung (90 %-Rückgang innerhalb von zwölf bis 26 Stunden) als unter anoxischen Bedingungen ohne Belüftung (Bedarf von 30 bis 130 Stunden für einen 90 %-igen Abbau) abgebaut (Kolz et al. 2005). Allerdings gibt es auch gegensätzliche Befunde bei der Behandlung von Klärschlämmen (Martin et al. 2015).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Güllebelüftung ist mit zahlreichen anderen Wirkungen verbunden, die sich direkt und indirekt auf zahlreiche Schutzgüter auswirken. Durch den oben beschriebenen pH-Wert-Anstieg verschiebt sich das Verhältnis zwischen $\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$ in Richtung NH_3 , dies fördert gasförmige NH_3 -Verluste. Zugleich führt der Anstieg des pH-Wertes zur Ausfällung von Ca-Phosphaten und von Struvit (Magnesium-Ammonium-Phosphat). Als Nebenprozess führt die Zufuhr von Sauerstoff zu einer Nitrifizierung von Ammonium zu Nitrat. Nitrat wird durch Diffusion im gesamten Flüssigmistlager gleichmäßig verteilt, und in Bereichen mit niedrigem Redoxpotential denitrifiziert, also in N_2O und N_2 umgesetzt. Die Erhöhung des Redoxpotentials reduziert die Methanbildung. Insgesamt führt der gesamte Prozess zu einer Verminderung des Puffervermögens des behandelten Materials sowie zu erheblichen gasförmigen N-Verlusten. Daher vermindern traditionelle Verfahren der Güllebelüftung die Düngewirkung von Flüssigmisten ganz erheblich und sind mit hohen Umweltbelastungen verbunden.

5.5.9 Pasteurisierung

Die Maßnahme dient zur Hygienisierung potentiell kontaminierter Substrate (z.B. Kategorie-3 Material nach Verordnung (EG) Nr. 1069/2009). Dabei wird das Substrat Temperaturen > 70 °C über einen Zeitraum > 1 Stunde ausgesetzt. Inwieweit sich eine Pasteurisierung auf die Aktivität von Tierarzneimitteln auswirkt, kann nicht abgeschätzt werden. Es ist jedoch denkbar, dass die relativ hohen Temperaturen bestimmte Tierarzneimittel inaktivieren (siehe unter Trocknung), zudem führt die Wärmebehandlung zu einer höheren Abbaubarkeit des Substrates und verringert damit mittelbar die Sorptionskapazität des Substrates.

5.6 Potential nicht etablierter Verfahren der Wirtschaftsdüngeraufbereitung

Beschreibung

In den vergangenen Jahren wurde an zahlreichen Optionen der Vor- und Zwischenbehandlung von Wirtschaftsdüngemitteln tierischer Herkunft gearbeitet. Diese Verfahren können in physikalische, chemische Vorbehandlungsmethoden und biologische Behandlungsmethoden unterteilt werden. Diese können auch untereinander kombiniert werden. Das Ziel der physikalischen Verfahren ist die Verringerung der Partikelgröße, beziehungsweise die Aufspaltung bestimmter im Wirtschaftsdünger enthaltener schwer abbaubarer Substanzen oder Fasern. Damit wird eine bessere Gasausbeute bei der anschließenden Vergärung des Substrats erzielt. Hier zunächst eine Übersicht der Verfahren:

- ▶ **Mechanische Verfahren** schließen mahlen und pressen des Wirtschaftsdüngers ein, um dessen physikalische Eigenschaften zu verändern (Nhuchhen et al. 2014). Dabei wird vor allem die Partikelgröße verringert, wodurch sich die spezifische Oberfläche des Substrates erhöht. Beim Extrudieren werden Hitze, hohe Drücke und Scherkräfte eingesetzt, die das Material erweichen (Angelidaki & Ahring 2000, Nasir & Ghazi 2015). Insgesamt steigt die Handhabbarkeit und Vergärbarkeit des Substrates. Das Verfahren hat einen hohen Energiebedarf (Nasir & Ghazi 2015).
- ▶ Bei einer **thermischen Vorbehandlung** wird der Wirtschaftsdünger auf Temperaturen zwischen 70 und 180° C erhitzt. Dabei entgasen leicht flüchtige Stoffe wie z.B. Ammoniak. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des behandelten Substrates als auch seine Struktureigenschaften verändern sich (Nhuchhen et al. 2014). Eine Erhöhung der Temperatur auf 70 bis 90 °C erhöht z.B. die nachfolgende Methanproduktion je nach Substrat um 24 bis 64 % (Bruni et al. 2010, Nhuchhen et al. 2014, Budde 2015, Nasir & Ghazi 2015). Die Optimaltemperatur liegt bei ca. 164 °C und die Minimumtemperatur sollte über 115 °C liegen (Budde 2015). Zu den thermo-chemischen Verfahren gehört die Zugabe von Säuren (z.B. H₂SO₄), die bei der thermischen Behandlung die Effizienz der Behandlung wesentlich erhöht (Bruni et al. 2010).
- ▶ Die Anwendung von **Mikrowellen und Ultraschall** kann individuell oder in Kombination mit thermischen Verfahren erfolgen. Diese Vorbehandlung zersetzt schwer abbaubare Fasern in Wirtschaftsdüngern und erhöht damit die Gaserträge bei einer nachfolgenden anaeroben Vergärung (Grönroos et al. 2005, Wu-Haan et al. 2010, Jiang et al. 2011). Die Wirkung wird durch Kombination mit dem Einsatz starker Laugen (Chiu et al. 1997, Jin et al. 2009) bzw. Erhitzung (de la Hoz et al. 2005, Jin et al. 2009) verstärkt. Bei Anwendung von Ultraschall (15 bis 30 Sekunden) werden die anschließenden Methanerträge der anaeroben Vergärung von Wirtschaftsdüngern (Schweinegülle, Rinder- und Milchviehgülle) um 20 bis 62 % erhöht (Wu-Haan et al. 2010). Auch eine Mikrowellenvorbehandlung (5 – 30 Minuten) und eine damit einhergehende Erwärmung des Substrates erhöhen die Vergärbarkeit von Wirtschaftsdüngern (Pan et al. 2006, Qureshi et al. 2008, Jin et al. 2009), die Wirkung wird ähnlich wie bei einer Ultraschallvorbehandlung durch Kombination mit einer Behandlung mit starken Säuren oder Laugen verstärkt (Jin et al. 2009).
- ▶ Mit überhitztem **Wasserdampf und Hochdruck** (Temperaturen zwischen 160 und 260 °C, Drücke zwischen 0,69 und 4,83 MPa; Bruni et al. 2010, Fang 2013, Nasir & Ghazi 2015) in Kombination mit Ammoniumhydroxid (AFEX-Verfahren) kann der Abbau von Lignin, Hemizellulosen und Zellulose stark gesteigert werden (Nasir & Ghazi 2015). AFEX steht für „Ammonia fiber explosion“ und stellt die Behandlung des Substrats mit Ammoniumhydroxid bei Temperaturen zwischen 60 und 100°C sowie Drücken zwischen 1,72 und 2,07 MPa dar (Nasir & Ghazi 2015).

- ▶ Das **CO₂-Explosionsverfahren** beruht auf der Injizierung von CO₂ bei hohen Temperaturen und unter hohem Druck, wodurch der pH-Wert im Substrat gesenkt wird. Dieses Verfahren erhöht die Abbaubarkeit der organischen Masse sowie die Hydrolyserate und löst adsorbierte Substanzen (Harmsen et al. 2010, Nasir & Ghazi 2015).

Chemische Verfahren der Wirtschaftsdüngerherstellung zielen auf die chemische Spaltung von mikrobiell schwer spaltbaren Verbindungen wie Lignin, Hemicellulose oder Zellulose. Damit können die Gaserträge gesteigert werden.

- ▶ Bei rein chemischen Vorbehandlungsoptionen werden starke Säuren oder Laugen den Wirtschaftsdüngern zugesetzt. Eine Behandlung mit Säuren bewirkt eine starke Reduktion des pH-Wertes des Substrates und damit die Aufspaltung von Pflanzenfasern in schwer spaltbaren Verbindungen (Hendriks & Zeeman 2009). Dabei können auch Nebenprodukte wie HMF oder phenolische Substanzen entstehen (Nasir & Ghazi 2015), die eine Basis für die Erzeugung von Plattformchemikalien darstellen. Eine effiziente Behandlung ist bei Normaltemperaturen nur mit hohen Säurekonzentrationen möglich, mit steigenden Behandlungstemperaturen sinkt der Bedarf an Säuren (Sun & Cheng 2002). Der Bedarf an Säure oder Base bis zum erwünschten Ziel-pH hängt vom Puffervermögen des Substrates und der Prozesstemperatur ab. Eine vorangestellte Entfernung des Ammoniaks senkt das Puffervermögen des behandelten Substrats und damit den Bedarf an Chemikalien ganz erheblich. Durch die Zugabe von Basen wie Natrium- und Kaliumhydroxid steigt der pH-Wert des Substrates auf >12 und damit werden die Esterverbindungen zwischen Lignin und Hemizellulosen aufgebrochen, das im Substrat enthaltene Lignin herausgelöst und dadurch die Zellulose für mikrobielle bzw. enzymatische Prozesse besser zugänglich gemacht (Wen et al. 2004, Yanfeng et al. 2009, Janker-Obermeier et al. 2012). Alternativ kann auch Branntkalk (CaO) oder Calciumhydroxid (Ca(OH)₂) eingesetzt werden (Bruni et al. 2010). Eine Behandlung mit NH₃ führt zu einer Schwellung der Lignozellulose und zu einer Veränderung der Kristallstruktur (Harmsen et al. 2010). Chemische und thermo-chemische Vorbehandlungsverfahren sind mit einem starken Einsatz von Säuren oder Laugen verbunden.
- ▶ Die Anwendung von starken Oxidationsmitteln, insbesondere Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und Ozon (O₃) kann auch in Kombination mit Mikrowellen (z.B. Pan et al. 2005) oder anaerober Vergärung eingesetzt werden (z.B. Bernal-Martinez et al. 2007). Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel für zahlreiche organische und anorganische Stoffe in Klärschlämmen, Wirtschaftsdüngern und anderen organischen Reststoffen (Déléris et al. 2002, Ahn et al. 2002, Saktaywin et al. 2005, Chu et al. 2009, Homem & Santos 2011). Ozon zerstört Zellverbände, inaktiviert Mikroorganismen und oxidiert die Zwischenprodukte des Zellabbaus (Déléris et al. 2002, Ahn et al. 2002, Bougrier et al. 2007). Die Ozonbehandlung führt zur Dispergierung, aggregierte organische Masse wird in feine Partikel zerlegt und dabei zugleich Wasser freigesetzt (Chu et al. 2009). Als Vorbehandlungsmethode vor einer anaeroben Vergärung führt sie zu einem erheblichen Anstieg der Gaserträge durch besseren Abbau der organischen Masse (Ahn et al. 2002, Hernandez et al. 2002, Bautitz & Nogueira 2007, Bougrier et al. 2007, Che et al. 2009). Sie gehört zu den potentesten Vorbehandlungsmethoden im Klärschlammereich (Müller 2000, Park et al. 2003), nur ca. 5 % der organischen Masse in Klärschlämmen widersteht der Ozonbehandlung (Déléris et al. 2000). Ähnlich wie bei Verwendung von Säuren und Laugen, führt eine vorangestellte Entfernung des Ammoniaks aus dem Substrat und einer damit einhergehenden Entfernung von Bicarbonaten und Carbonaten zu einem effizienteren Einsatz von starken Oxidationsmitteln: Bicarbonate und Carbonate fangen OH-Radikale ab und fördern den Abbau von Ozon (Garoma et al. 2010). Allerdings bewirkt die Ozonierung eine teilweise Nitrifizierung von Ammonium-N im Substrat (Uslu & Balcioglu 2008) wodurch Denitrifikationsreaktionen ablaufen können und dadurch Treibhausgasemissionen erhöht werden.

Der stärkere Abbau der organischen Masse bei bestimmten Vorbehandlungsmethoden (Ultraschall bzw. Mikrowellenaufschluss, Einsatz von Wasserstoffperoxidase und Ozonierung) bzw. die Anwendung von Säuren erhöht die Phosphorlöslichkeit und damit das Potential einer teilweise gezielten P-Abtrennung durch Ausfällung (Déléris et al. 2002, Liao et al. 2005, Pan et al. 2006, Chu et al. 2008, Qureshi et al. 2008, Jin et al. 2009).

Ein ganz neuer Ansatz zur Behandlung von Flüssigdüngern stellen mikrobielle bzw. bioelektrochemische Brennstoffzellen dar (Rabaey & Verstraete 2005, Logan et al. 2006, Zhang et al. 2012). Diese bestehen im Wesentlichen aus einer Anode, einer Kathode und einer ionenselektiven Membran. Das Funktionsprinzip ist vergleichbar mit dem einer chemischen Brennstoffzelle. Sie können aus organischem Material direkt elektrischen Strom produzieren. Ausgewählte anaerobe Mikroorganismen oxidieren organisches Material im Anodenraum und geben überschüssige Elektronen an die Anode weiter (Logan et al. 2006, Sheets et al. 2015). Die auf der Anodenseite durch den Abbau der organischen Masse entstehenden Protonen führen dort zu einer pH-Wert-Absenkung und gelangen durch die protonenselektive Membran in den Kathodenraum, wo durch Reduzierung von Sauerstoff und unter Verbrauch von Protonen Wasser gebildet wird, gleichzeitig führt dies zu einer Erhöhung des pH-Wertes (Rabaey & Verstraete 2005, Logan et al. 2006, Kaushik & Chetal 2013, Zhang & Angelidaki 2015, Zhao et al. 2006). Abgeleitet von mikrobiellen Brennstoffzellen wurden in den letzten Jahren mikrobielle Entsalzungszellen (microbial desalination cells) entwickelt, die die gleichen bio-elektrochemischen Reaktionen verwenden wie mikrobielle Brennstoffzellen (Zhang & Angelidaki 2015). Sie ermöglichen die Verbindung von Energieproduktion und Abtrennung von Ionen wie Kalium aus Klärschlämmen oder Flüssigmisten, die quantitativ kaum durch andere Reaktionen selektiv herausgetrennt werden können.

Zu den biologischen Verfahren gehört u.a. der Zusatz von Enzymen (z.B. Laccasen, Peptidasen) zur Förderung der enzymatischen Degradation von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen, welche einer chemischen Spaltung von Verbindungen des organischen Substrats gleichkommt. Insgesamt liegen hierzu derzeit noch sehr wenige Untersuchungen vor.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Nur wenige Untersuchungen betrachten mögliche Wirkungen weitergehender Behandlungen von Wirtschaftsdüngern auf potentielle Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt vor (z.B. Uslu & Balcioglu 2008). Weit besser ist die Behandlung von Klärschlamm abgedeckt (z.B. Uslu & Balcioglu 2008). Von den Ergebnissen der Anwendung der jeweiligen Methoden können allerdings Rückschlüsse auf direkte als auch indirekte Wirkungen getroffen werden.

Direkte Wirkungen dürften vor allem bei der Verwendung von starken Oxidationsmitteln wie Ozon oder Wasserstoffperoxid eintreten. Es ist bekannt, dass eine Ozonierung von Klärschlämmen die Transformation von Arzneimitteln fördert (Ternes et al. 2002, Huber et al. 2003, Westerhoff et al. 2005, Carballa et al. 2007, zitiert nach Chu et al. 2009, Li et al. 2008, Mendez-Arriaga et al. 2008, Oncu & Balcioglu 2013, Yao et al. 2013), wie z.B. endokrin wirksame Stoffe (Tijani et al. 2013), Erythromycin, Ofloxacin, Sulfamethoxazol und Trimethoprim (Drewes et al. 2008, Le-Minh et al. 2010). Auch bei der Behandlung von Trinkwasser durch Ozonierung wurden hohe Abbauraten von Tetrazyklinen (Jung et al. 2009) und verschiedenen Wirkstoffen aus der Gruppe der Sulfonamiden (Garoma et al. 2010) festgestellt. Zugleich fördert die Ozonierung den Abbau von anderen organischen Schadstoffen (Phthalate, PAKs, Bisphenol A, etc.) (Bernal-Martinez et al. 2007, Gromadzka & Swietlik 2007, Khan & Jung 2008, Garoma et al. 2010). Studien bestätigen, dass der weitgehende Abbau organischer Bestandteile bei Anwendung starker Oxidationsmittel Schadstoffe zu weniger toxischen und besser abbaubaren Zwischenprodukten umwandelt (Homem & Santos 2011). Zahlreiche Faktoren, wie Wassergehalt, pH-Wert oder Bicarbonatgehalte, beeinflussen die Wirkung. So wurden zum Beispiel höhere Abbauraten von Oxytetrazyklin bei der Ozonierung von

getrockneten Wirtschaftsdüngern nachgewiesen, u.a. aufgrund einer besseren Diffusionsrate von Ozon im getrockneten Substrat (Uslu & Balcioglu 2008).

Zahlreiche Studien zeigen einen stärkeren Abbau von Tierarzneimitteln durch erhöhte Temperaturen z.B. bei Kompostierung oder anaerober Vergärung (Wang et al. 2006, Mitchell et al. 2014). Dagegen wurden nur wenige Informationen über die Wirkung hoher Temperaturen > 80 °C auf Aktivität und Zersetzung von Tierarzneimitteln zusammengetragen. Tetrazykline, die am häufigsten eingesetzten Tierarzneimittel, sind sehr temperaturstabil (Dürkheimer 1975, Zurhelle 2000, Hassani et al. 2008), sie weisen mit Temperaturen zwischen 165°C und 185°C vergleichsweise hohe Schmelz- und Zersetzungspunkte auf (Dürkheimer 1975, Zurhelle 2000), die weit oberhalb üblicher Behandlungstemperaturen liegen.

Indirekte Wirkungen: Adsorptionsreaktionen, die Tierarzneimittel an die Oberfläche der organischen Masse in Wirtschaftsdüngern binden, inaktivieren einerseits zahlreiche Tierarzneimittel, begrenzen aber zugleich deren Abbau bei der anaeroben Vergärung. Jede Vorbehandlung, die einen stärkeren Abbau der organischen Masse bewirkt, könnte einzelne Tierarzneimittel freisetzen (desorbieren). Während der anschließenden Vergärung könnten diese abgebaut werden. Nach einer Fest-Flüssig-Trennung (siehe oben) könnte insbesondere die Festphase, welche den Großteil der Tierarzneimittel enthält, einer der aufgeführten Vor- oder Zwischenbehandlungsverfahren unterzogen und anschließend erneut anaerob vergoren werden.

Der Zusatz von Säuren und Laugen zu Wirtschaftsdüngern kann die Freisetzung von Tierarzneimitteln und damit ihre Zugänglichkeit zu Abbauprozessen während einer anschließenden Behandlung (z.B. im Biogasfermenter, Ozonierung) stark beeinflussen (Oncu & Balcioglu 2013). So werden die Antibiotika Ciprofloxacin und Oxytetrazyklin durch eine kombinierte Behandlung von Laugen (pH 11,5) in Lösung gebracht und bei einer anschließenden Ozonierung weitgehend abgebaut (Oncu & Balcioglu 2013). Auch Sulfonamide werden bei höherem pH-Wert stärker durch Ozonierung abgebaut (Garoma et al. 2010), da deprotonierte Species eine höhere Reaktivität gegenüber Ozon im Vergleich zu protonierten aufweisen (Hoigne & Bader 1983). Bestimmte Wirkstoffe werden bei niedrigem pH-Wert im Substrat effizienter abgebaut (Hansen et al. 2009, Bohn et al. 2013): Monensin, Salinomycin sowie Narasin werden bei einem pH-Wert von 4 unter Abspaltung von Wasser zersetzt, mit Halbwertszeiten von 13,0, 0,6 und 0,7 Tagen bei 25 °C (Bohn et al. 2013). Dagegen sind Antibiotika wie Ampicillin stabiler unter sauren als unter alkalischen Bedingungen, die Halbwertszeiten bei pH 9 und 25 °C beträgt 6,7 Tage (Mitchell et al. 2014). Auch der Abbau von Ceftiofur erfolgt rascher im basischen Bereich (pH 9, Gilbertson et al. 1990).

Zugaben aus anderen Vorbehandlungen, wie z.B. Mg^{2+} zur Struvitfällung, können zu einer selektiven Desorption von Tierarzneimitteln führen (z.B. Ciprofloxacin, Oxytetrazyklin, Oncu & Balcioglu 2013). Eine anschließende Nachbehandlung mit starken Oxidationsmitteln kann zu einer weitgehenden Degradation des desorbierten Oxytetrazyklin führen (Oncu & Balcioglu 2013).

Wirkungsgrenzen der Maßnahmen

Diese Maßnahmen sind von der Prozesstechnik her sehr anspruchsvoll und werden sich kaum so vereinfachen können, dass sie in einem landwirtschaftlichen Betrieb nebenbei betrieben werden könnten. Sie erfordern meist auch einen hohen Einsatz von Energie, teilweise auch an Inputstoffen (Säuren oder Laugen, etc.), sodass dies nur in spezialisierten, zentral arbeitenden Einheiten implementierbar erscheint.

5.7 Schlussfolgerungen und bestehende Wissenslücken

Die Übersicht der verschiedenen Behandlungsoptionen für Wirtschaftsdüngemittel zeigt, dass die messbaren Gehalte zahlreicher bedeutsamer Tierarzneimittel relativ effizient durch eine gezielte Behandlung reduziert werden können, wobei die Substanzen entweder abgebaut werden oder an sog. funktionellen Gruppen an den Oberflächen der organischen Masse adsorbiert und damit inaktiviert werden. Daher helfen längere Lagerzeiten oder eine anaerobe Vergärung von Flüssigmisten bzw. ggf. eine Kompostierung von Festmisten bzw. Feststoffen den Eintrag von zahlreichen Tierarzneimitteln in Umweltkompartimente zu verringern. Allerdings ist die Implementierung von Maßnahmen mit dem ausschließlichen Ziel einer Reduzierung der Tierarzneimittelkonzentrationen in Wirtschaftsdüngemitteln tierischer Herkunft ökonomisch nicht darstellbar und nicht vertretbar. Daher ist die Suche nach win-win-Situationen wie z.B. die Kombination mit einer Energieerzeugung ein wichtiger Aspekt bei der Auswahl der Verfahren.

Hohe Abbauraten der organischen Masse und damit eine Verringerung der Adsorptionsmöglichkeiten für organische Schadstoffe dürfte ein wichtiger Schlüssel zur Degradation von Tierarzneimitteln darstellen, da auf dem Wege diese bestenfalls desorbiert und anschließend den Abbauvorgängen in der Lösung ausgesetzt sind. Dagegen ist die Bereitstellung einer hohen Anzahl von Adsorptionsplätzen eine Möglichkeit, die Adsorption und damit zumindest vorübergehende Inaktivierung von Tierarzneimitteln zu fördern. Allerdings sind viele grundlegende Prozesse der chemischen und biologischen Umsetzungen in Wirtschaftsdüngern und bei der Wirtschaftsdüngerbehandlung, sowie die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Substanzen bisher noch nicht ausreichend bekannt (Arikan et al. 2009a, Ho et al. 2013). Es fehlen Studien, die das Verhalten definierter Wirkstoffe bei verschiedenen Bedingungen und Aufbereitungsschritten bzw. –alternativen systematisch analysieren und bewerten. Es fehlen auch Studien, die das Verhalten von Alternativwirkstoffen ähnlicher Indikation bewerten, um ggf. die Wirkstoffwahl gezielt von deren späteren Umweltverhalten abhängig zu machen. Die bekannten Untersuchungen fokussieren sich auf die Gruppe der Antibiotika. Für andere Wirkstoffgruppen (Kokzidiostatika, Antiparasitika, Schmerzmittel, Narkotika) sind nur wenige oder keine Untersuchungen zu Verhalten in und Behandlung von Wirtschaftsdüngemitteln unternommen worden. Ferner liegen kaum Untersuchungen über Behandlungskaskaden vor, meistens werden nur die passive Lagerung im Vergleich zu Kompostierung oder anaerober Vergärung ohne Vor- oder Nachbehandlungsmaßnahmen betrachtet.

Bei der Kompostierung werden die messbaren Gehalte der bislang untersuchten Wirkstoffe (überwiegend Antibiotika) meistens relativ wirksam reduziert. Bei der anaeroben Vergärung werden dagegen einige Wirkstoffe gar nicht oder nur sehr langsam abgebaut bzw. adsorbiert. Dazu gehören insbesondere ausgewählte Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonamide, Schmerzmittel, möglicherweise Amoxicillin aus der Gruppe der β -Laktame, natürliche und künstliche Östrogene, und einige andere Wirkstoffe wie Thiamphenicol, Benzylpenicillin, oder 3,5-Dichlorophenol. Allerdings wurden teilweise in der Literatur keine Angaben zu Wirkungen der Kompostierung auf einige Wirkstoffe gefunden, die bei anaerober Vergärung nur bedingt oder gar nicht abgebaut werden (Thiamphenicol, Benzylpenicillin, oder 3,5-Dichlorophenol). Längere Vergärungszeiten (z.B. bei Verwendung von NawaRo-Substraten) könnten bei langsamer reagierenden Substanzen die Effizienz des Abbaus bzw. der Inaktivierung durch Adsorption erhöhen.

Belastete Wirtschaftsdünger könnten auch mit aufwändigeren Verfahren behandelt werden. Besonders gut scheinen Behandlungsketten organische Schadstoffe zu reduzieren, die einen hohen Abbau der organischen Masse mit möglichst starken Bandbreiten beim pH-Wert und dem Redoxpotential (z.B. durch Applikation von Oxidationsverfahren) verbinden. Da zahlreiche Tierarzneimittel stark an Feststoffe adsorbieren, könnte die feste Phase nach einer Fest-Flüssig-Trennung gezielt, z.B. durch Kompostierung, Ozonierung, Zugabe von Säure oder Base, oder durch

Zusatz bestimmter Enzyme behandelt, oder einer Verbrennung zugeführt werden. Allerdings sind mit Ausnahme von Fest-Flüssig-Trennung und ggf. Nachkompostierung die meisten weitergehenden Verfahren zur Behandlung der Teilfraktionen sehr aufwändig, teilweise mit hohem Energieeinsatz, hohem verfahrenstechnischen Know-how und daher hohen Kosten verbunden. Der Einsatz solcher Maßnahmen ausschließlich zur gezielten Behandlung belasteter Wirtschaftsdünger scheint wirtschaftlich kaum vertretbar. Allerdings bestehen zahlreiche andere ökonomisch relevante Vorteile, die einen Einsatz rechtfertigen könnten:

- ▶ Die chemische Behandlung schwer abbaubarer organischer Masse durch Einsatz von starken Säuren oder Laugen, oder der Einsatz von Oxidationsverfahren erhöht die Energieerträge bei einer nachfolgenden Biogasgärung, oder in einem Kaskadenansatz zur stofflichen Verwertung durch Produktion von Rohstoffen für die Industrie (z.B. Plattformchemikalien) mit einer anschließenden anaeroben Vergärung der Restwässer.
- ▶ Bei Behandlung des Wirtschaftsdüngers mit Laugen oder Säuren können unter anderem die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor, ggf. ein Teil des Kaliums entfernt werden. Zum einen könnten die Nährstoffe zu mineralischem und besser transportierbaren Dünger verwandelt werden. Zum anderen wirken sich starke Veränderungen des pH-Wertes auf den Abbau von Tierarzneimitteln und anderen organischen Schadstoffen aus. Ein weiterer ökologischer Nutzen wäre die Entlastung regionaler Nährstoffkreisläufe.
- ▶ Gezielte Anwendung von Enzymen zur gezielten Desaminierung N-reicher Substrate, zur Produktion hochwertiger Nebenprodukte (z.B. Plattformchemikalien) oder/und zur Erhöhung der Abbaubarkeit der organischen Masse.

Solche Behandlungskaskaden sind bisher noch nicht untersucht worden. Allerdings stellen die hohen Ammoniumgehalte von Flüssigdüngemitteln ein verfahrenstechnisches Hindernis, sowohl bei einfachen als auch bei aufwändigeren Behandlungsansätzen. Ammonium stellt in Wechselwirkung mit CO₂ die wichtigste Puffersubstanz in tierischen Düngemitteln dar. Dieses wirkt sich zum einen auf den Bedarf an Säure und Laugen bei chemischen Verfahren aus. Außerdem führen die hohen Ammoniumgehalte in separierten Feststoffen zu hohen N-Verlusten und hohen Treibhausgasemissionen bei Lagerung und Nachkompostierung. Somit stellen die hohen N-Gehalte von Flüssigdüngemitteln in mehrfacher Sicht ein Problem bei der Implementierung von aufwändigeren Verfahren der Wirtschaftsdüngerbehandlung dar. Allerdings ist eine Ammoniakstrippung von unseparierten Flüssigdüngemitteln häufig verfahrenstechnisch problematisch, weil die Feststoffe die entsprechenden Austauscherelemente zusetzen können. Daher wird die Ammoniakstrippung meistens erst nach einer Fest-Flüssig-Trennung eingesetzt, auf dem Markt gibt es aber bereits Verfahren, die bei Wirtschaftsdüngern mit hohen Fasergehalten eine Strippung bis zu einer Trockenmasse von 6 % und bei faserarmen Wirtschaftsdüngern (z.B. Geflügelkot) sogar bis 15 %. Die Weiterentwicklung und Implementierung der Verfahren, die eine möglichst frühzeitige NH₃-Entfernung in der Behandlungskaskade ermöglichen, wäre eine wichtige Voraussetzung für eine umweltfreundlichere Nutzung von Wirtschaftsdüngern. Sie würde ggf. den Chemikalieneinsatz nachgelagerter Behandlungsmaßnahmen erheblich reduzieren und deren Effizienz stark erhöhen, und damit deren Wirtschaftlichkeit erheblich erhöhen.

Besonders erfolgversprechend dürften Verfahren sein, die auf eine im Vergleich zur reinen energetischen Nutzung höherwertige, stoffliche Verwertung der organischen Masse in Wirtschaftsdüngemitteln in einem Kaskadenansatz abzielen. Hierzu gehört insbesondere die Produktion von Plattformchemikalien (organische Säuren, Phenole, etc.), bei denen die anaerobe Vergärung zur Energieerzeugung lediglich eine Nachbehandlungsstufe darstellt. Sie könnten eine wirtschaftlich interessante Verwertung der Reststoffe durch Produktion von teilweise teuren Rohstoffen für die Industrie mit einer teilweisen Zerstörung unerwünschter Stoffe sowie einer Teil-

Entfrachtung von Nährstoffen (Produktion von Düngemitteln mit sehr hoher Transportwürdigkeit) verbinden, und damit zahlreiche win-win-Relationen herstellen.

5.8 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

Aus der durchgeführten Zusammenstellung geht hervor, dass keine der beschriebenen Einzelmaßnahmen einen vollständigen Abbau unerwünschter organischer Schadstoffe gewährleisten kann. Hieraus können mehrere politische Handlungsalternativen abgeleitet werden, sowohl auf der Ebene der eingesetzten Wirkstoffe, als auch auf der Ebene der Nachbehandlung. Bei den eingesetzten Wirkstoffen könnten Politik und Zulassungsbehörden darauf hinwirken, Wirkstoffe mit ungünstigem Umweltverhalten bzw. geringer Abbaubarkeit (z.B. Monensin, bestimmte Sulfonamide) durch Wirkstoffe mit einem günstigeren Umweltverhalten nach Ausscheidung aus dem Tier zu ersetzen.

Auf der Behandlungsseite gilt es die gesetzlichen und ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen so zu setzen, dass aufwändigere Verfahren der Wirtschaftsdüngerherstellung ökonomisch interessant werden, und die daraus erzeugten Produkte mit einem vertretbaren Aufwand auch vermarktet werden können. Dazu gehört zuvorderst zunächst eine deutliche Verschärfung der zulässigen Nährstoffüberhänge nach DüV, kombiniert mit einer erheblichen Reduzierung der anzustrebenden Gehaltsklassen für den Nährstoff Phosphor, wie es kürzlich durch die entsprechende Fachgesellschaft, dem VDLUFA, gefordert wurde (Taube et al. 2015). Ein Verbot jeglicher P-Überschussdüngung bei einer dem wirklichen Pflanzenbedarf angepassten Gehaltsklasse C, die Einschränkung der Verbringung P-haltiger Düngemittel bei Gehaltsklasse D und ein Verbot jeglicher Düngung von Wirtschaftsdüngern in Gehaltsklasse E, kombiniert mit schärferen Grenzwerten bei den zulässigen N-Überschüssen würde ein Treiber des wissenschaftlichen und technischen Fortschritts bei der Implementierung aufwändigerer Verfahren der Düngemittelaufbereitung darstellen. Die Implementierung solcher Verfahren würde die Gefahr von Klimagasemissionen reduzieren und könnte potentiell zugleich auch die Gehalte an Schadstoffen reduzieren (organische Schadstoffe, ggf. auch potentiell toxische Elemente - Schwermetalle) und damit zahlreiche win-win-Beziehungen ermöglichen. Zugleich könnten neben Energie auch Rohstoffe für die Industrie produziert werden, es würden aber auch „neue“ Düngemittel landwirtschaftlichen Ursprungs anfallen wie z.B. Ammoniumsulfat, Ammoniumnitrat oder Ammoniumcarbonat sowie Ca-Phosphate oder Struvit.

Für die Vermarktung und Ausbringung von „neuen“ Düngemitteln, die aus organischen Reststoffen erzeugt werden, fehlen derzeit teilweise gesetzliche Vorgaben, sodass sie in der Praxis häufig nach der Behandlung in die Wirtschaftsdünger zurückgeführt oder nur innerbetrieblich verwertet werden. Hierdurch können potentiell wichtige Vorteile wie eine teilweise Entkopplung der N- und C-Kreisläufe mit einer gezielteren N-Anwendung und eine Entlastung regionaler Nährstoffkreisläufe nicht genutzt werden. Auch hier besteht dringender Handlungsbedarf durch Novellierung der Düngemittelgesetzgebung. Eine Begrenzung der S-Überschüsse (u.a. zum Schutz des Trinkwassers) in der DüV würde die Implementierung von Verfahren fördern, die ohne oder nur mit geringen Mengen an Schwefelsäure auskommen, und zugleich bei den Landwirten das Bewusstsein der Notwendigkeit einer gezielteren Betrachtung des S-Kreislaufes stärken.

Die derartige Gestaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen, dass diese zu einer stärkeren Vergärung von Wirtschaftsdüngemitteln führen, könnten bei zahlreichen Tierarzneimitteln für eine Entlastung sorgen, da die dadurch indirekt bedingten längeren Lagerzeiten kombiniert mit höheren Temperaturen höhere Abbauraten von zahlreichen Tierarzneimitteln ermöglichen würden. Zugleich könnten dadurch ein Teil der Emissionen (N-Verluste, Klimagasemissionen) im Zusammenhang mit dem Wirtschaftsdüngermanagement erheblich reduziert werden.

Dagegen sind bei anderen der derzeit diskutierten Maßnahmen, wie z.B. längere Lagerzeiten durch höhere Lagerkapazität und Ausweitung der Sperrfristen, teilweise durchaus ambivalente Wirkungen

zu betrachten. Längere Lagerzeiten können erhöhte Klimagasemissionen und Nährstoffverluste (insbesondere bei Feststoffen oder nicht abgedeckten Flüssigmistlagern) nach sich ziehen. Und wenn durch Ausweitung von Sperrfristen mehr Wirtschaftsdünger im Spätwinter und Frühjahr zur Kopfdüngung von Druschfrüchten eingesetzt werden, wird zwar durch längere Lagerzeiten die Konzentration zahlreicher organischer Schadstoffe reduziert und die Gefahr von N-Verlusten durch Nitratauswaschung verringert, aber die Gefahr von gasförmigen NH_3 -Verlusten und eines Abtrags von Phosphor und Tierarzneimitteln durch oberflächlich abfließendes Wasser erhöht. Dabei wäre auf zahlreichen tiefgründigen Standorten mit hohem Wasserhaltevermögen eine Düngung vor der Getreidesaat im Herbst mit unmittelbarer Einarbeitung im Hinblick auf N-Verwertung, Reduzierung der Nährstoffverluste und Schutz der Oberflächengewässer (Stickstoff, Phosphor, Antibiotika, etc.) sinnvoller als eine Kopfdüngung im Spätwinter oder Frühjahr.

6.1 Problemstellung

Unter dem Begriff „Expositions-minderung“ werden in dieser Fachbroschüre diejenigen Maßnahmen zusammengestellt, die zu einer Minderung bzw. Verzögerung des Eintrages von Tierarzneimitteln in die verschiedenen Umweltmedien führen können.

Eine erste Gruppe von Maßnahmen sind „Risikominderungsmaßnahmen“ (RMMs), die infolge der Umweltrisikobewertung von Tierarzneimitteln als Auflagen erstellt werden können. Seit Inkrafttreten der Richtlinie 2001/82/EG zur Schaffung eines Gemeinschaftskodexes für Tierarzneimittel wird vor jeder Genehmigung für das Inverkehrbringen von Tierarzneimitteln das Umweltrisiko bewertet. Wenn Umweltrisiken bei der zu erwartenden Anwendung nicht ausgeschlossen werden können, sind Risikominderungsmaßnahmen zu formulieren, die in den Produktinformationen kommuniziert werden (vgl. Kapitel 6.2). Da diese Maßnahmen eine Reihe von Kriterien erfüllen müssen – wie z.B. eine nachprüfbar Wirkung, die in die Umweltrisikobewertung aufgenommen werden kann – ist ihre Zahl stark begrenzt. Laut EMA (2012) erfüllen lediglich fünf Maßnahmen die notwendigen Kriterien, um Risikominderungsmaßnahme zu sein, die alle in der Verantwortung der Tierhalter bzw. Tierärzte liegen. Liebig et al. (2014) dagegen identifizieren 19 Maßnahmen als mögliche Risikominderungsmaßnahme. Ferner ist die Wirksamkeit dieser Maßnahmen umstritten, weil ihre Umsetzung kaum nachprüfbar und eine Adressierbarkeit der Risikominderungsmaßnahme oft schwierig ist.

Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer Maßnahmen, die den Eintrag von Tierarzneimitteln in die Umwelt mindern können – in diesem Bericht „Eintragsminderungsmaßnahmen“ genannt. Diese greifen nicht gesondert für ein Tierarzneimittel (wie es die Risikominderungsmaßnahmen tun sollen) sondern i.d.R. für viele Tierarzneimittel gleichzeitig. Die meisten dieser Maßnahmen (Kapitel 6.3 bis 6.9) wirken auf die Eintragspfade von Tierarzneimitteln, und bewirken:

- a) dass Tierarzneimittel in geringeren Mengen austreten bzw. abtransportiert werden, z.B. durch Maßnahmen, die den Oberflächenabfluss einer landwirtschaftlichen Fläche reduzieren.
- b) dass die Verlagerung von Tierarzneimitteln verlangsamt wird bzw. unter Bedingungen geschieht, die folgende Umweltprozesse begünstigen:
 - Abiotische und biotische Transformation („Abbau“)
 - Sorption (Adsorption und Absorption)
 - Verdünnung

Insgesamt fällt die experimentelle Forschung, die die Wirkung von Eintragsminderungsmaßnahmen spezifisch auf Tierarzneimittel untersucht, noch recht übersichtlich aus; sie beschränkt sich lediglich auf 3 bis 4 Maßnahmen. Auch in Hinsicht auf die analysierten Tierarzneimittel-Gruppen sind die Erkenntnisse derzeit beschränkt: In den analysierten Studien wurden fast ausschließlich Antibiotika gemessen, und lediglich in zwei Fällen wurden auch Antiparasitika miteinbeschlossen. Zudem wurde die überwiegende Mehrzahl der analysierten Studien zur Eignung von Ackerrandstreifen, Gewässerrandstreifen, und Pflanzenkläranlagen zur Tierarzneimittelminderung in den USA durchgeführt, wo die Tierproduktion unter bedeutend unterschiedlichen Bedingungen stattfindet (Aarons & Gourley, 2012, Centner, 2003, Chu et al., 2013, Kim et al., 2011, Knox et al., 2007, Lin et al., 2010, Lin et al., 2011, Miller et al., 2008, Netthisinghe et al., 2013, Popova et al., 2014, Tate et al., 2006, Unger et al., 2012, Unger et al., 2013). Dabei war der Fokus i.d.R. beschränkt auf die Verschmutzung in tierproduzierenden Betrieben (d.ö. in Weidetierhaltung); es gibt somit kaum Untersuchungen zu den Auswirkungen der Anwendung organischer Dünger auf Feldern. In Europa gibt es nur vereinzelt relevante experimentelle Studien (Carvalho et al., 2013, Kay et al., 2005, Kreuzig et al., 2007c, Stoob et al., 2007).

Allerdings weist die wissenschaftliche Literatur auf die Gruppenähnlichkeit im Verhalten und Verbleib in der Umwelt von Tierarzneimitteln und Pflanzenschutzmitteln hin, besonders in Bezug auf Oberflächenabfluss (u.a. Kay et al. 2005, Stoob et al. 2007, und in Bezug auf Antibiotika Lin et al. 2011). Die Literatur postuliert reduzierende Wirkungen auf Tierarzneimittelgehalte für einige der Expositions-minderungsmaßnahmen, die für Pflanzenschutzmittel entwickelt wurden (Kay et al. 2005). Die wenigen experimentellen Studien für Tierarzneimittel belegen auch diese Annahme für die Maßnahmen Ackerrandstreifen, Gewässerrandstreifen (beide in Kapitel 6.3 behandelt) und Pflanzenkläranlagen (Kapitel 6.5), die zusätzlich zu ihren bekannten positiven Auswirkungen auf Pflanzenschutzmittelgehalte sehr bedeutende positive Auswirkungen für Tierarzneimittelgehalte haben. (Auch für weitere Agrochemikalien wie Biozide und Nährstoffe wie Phosphor gelten diese als zielführende Minderungsmaßnahmen.) Aus diesen Gründen wurden in diesem Forschungsvorhaben auch Eintragsminderungsmaßnahmen evaluiert, für die es noch keine experimentellen Studien zu ihren Auswirkungen auf Tierarzneimittelgehalte gibt, die aber für Pflanzenschutzmittel Wirkungen vorweisen und für die zuerst einmal eine ähnlich geartete Wirkung auf Tierarzneimittelgehalte angenommen werden kann. Solche Annahmen, die aus Analogieschlüssen aufgrund von Stoffeigenschaften abgeleitet werden, sind gängig im Gebiet der Umweltverschmutzung, müssen aber experimentell überprüft werden. Es gibt allerdings kaum experimentelle Studien zur Wirkung von Eintragsminderungsmaßnahmen für Tierarzneimittel, auch auf mit organischen Düngern behandelten Ackerflächen. Dies stellt die derzeit wohl größte Wissenslücke im Feld der Expositions-minderung dar.

Das größte Potential bei der Expositions-minderung besteht in den Synergien mit Maßnahmen, die für andere Schadstoffe bzw. mit anderen Schutzzielen eingesetzt werden. Maßnahmen, die die Expositions-minderung von Stoffen wie Pflanzenschutzmittel, Biozide, Stickstoff und Phosphor bezwecken, Maßnahmen zur Erosions-minderung wie auch Maßnahmen, die eine Verlangsamung des Abflussverhaltens auf landwirtschaftlichen Flächen bewirken (möglicherweise als Teil eines dezentralen Hochwasserschutzes, der auf Wasserrückhalt in der Fläche abzielt), haben – zumindest theoretisch – sehr erhebliche Potentiale für eine Minderung von Tierarzneimitteln. Für diese anderen Stoffgruppen und Schutzziele gibt es ein breites Spektrum an Maßnahmenmöglichkeiten, wie auch ggf. an Maßnahmenplänen, die die Umsetzung von Maßnahmen finanzieren können. Darüber hinaus ist auch eine Übertragung einiger Maßnahmen von diesen Stoffgruppen auf Tierarzneimittel denkbar, wobei bestehende Ansätze bzw. Infrastrukturen benutzt werden können (s.u. Maßnahme 6.4).

Bei aller Ähnlichkeit zwischen den Stoffgruppen Tierarzneimittel, Pflanzenschutzmittel und Biozide müssen auch ihre Unterschiede bedacht werden. Der Haupteintragspfad für Tierarzneimittel in die Umwelt ist die Ausbringung von tierischen Ausscheidungen über Gülle, Jauche und Mist auf den Feldern (Liebig et al. 2014). Gülle, Jauche und Mist werden saisonal zu anderen Zeitpunkten (d.h. mit Unterschieden in der pflanzlichen Deckung sowohl auf den Feldern wie in den benachbarten Flächen), und unter anderen Witterungsbedingungen, Abflusseigenschaften usw. eingesetzt als z.B. Pflanzenschutzmittel.

Auch sind die Effekte zu berücksichtigen, die die Maßnahmen auf andere Schutzgüter ausüben können. Die Mehrzahl der identifizierten Maßnahmen zielt auf eine Eintrags-minderung in Oberflächen- und/oder Grundwasser ab. Dabei können manche dieser Maßnahmen ggf. zu einer lokalen Erhöhung der Tierarzneimittelgehalte in Böden und in Pufferzonen führen. Darüber hinaus muss auch das Wechselverhältnis zwischen Versickerung durch den Boden ins Grundwasser und Oberflächenabfluss bedacht werden. Maßnahmen, die durch Minderung des Oberflächenabflusses den Tierarzneimitteltransport sowohl in seiner gelösten wie auch in seiner partikulären Form (an Bodenpartikeln sorbiert) verringern und somit den Tierarzneimittleintrag in Oberflächengewässer senken können, können zu einer erhöhten Infiltration und dadurch zu einer erhöhten Auswaschung der Tierarzneimittel ins Grundwasser führen (Reichenberger et al., 2007).

Ferner sollte die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Umsetzung von Eintragsminderungsmaßnahmen keine Reduktion von Tierarzneimittelgehalten in der Umwelt garantiert. Für Pflanzenschutzmittel ist bekannt, dass in Jahren mit vielen Starkregenereignissen der reduzierende Effekt von Minderungsmaßnahmen durch die vermehrte Auswaschung infolge dieser Starkregenereignisse mehr als aufgehoben werden kann (Reichenberger et al., 2007).

An dieser Stelle soll auch daran erinnert werden, dass diese Maßnahmen nur in manchen Fällen und bedingt (durch Förderung von Abbauprozessen) eine Minderung der Gesamtmenge eines Tierarzneimittels in der Umwelt leisten können. Sie sind sozusagen „end-of-pipe“-Maßnahmen. Maßnahmen, die früher greifen, indem sie den Einsatz von Tierarzneimitteln oder deren Emission in die Umwelt begrenzen (z.B. Maßnahmen des präventiven Gesundheitsmanagement, vgl. Kapitel 4) sind Eintragsminderungsmaßnahmen vorzuziehen.

6.2 **Maßnahme: Risikominderungsmaßnahmen bei der Umweltrisikobewertung für Tierarzneimittel**

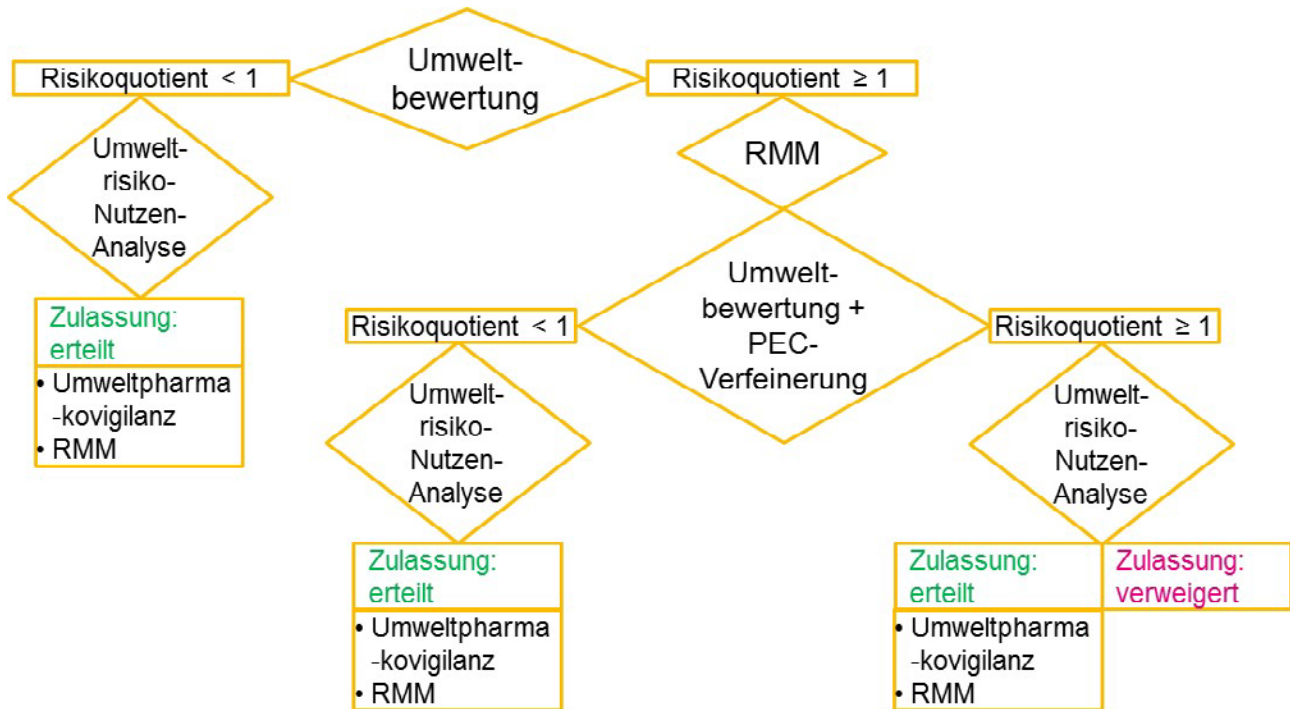
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Vor der Markteinführung eines Tierarzneimittels prüft das Umweltbundesamt die möglichen Umweltauswirkungen. In einem gestuften Verfahren werden die eingereichten Studien zu Umweltverhalten (u.a. biol. Abbau und Adsorption) und ökotoxikologischen Wirkung eines Tierarzneimittels nach Leitfäden der Europäischen Arzneimittelagentur EMA bewertet. Falls nach Verfeinerung der vorausgesagten Umweltkonzentrationen ein Risiko für die Umwelt nicht ausgeschlossen werden kann, sind effektive Risikominderungsmaßnahmen in der Fachinformation des Tierarzneimittels zu kommunizieren (vgl. Abbildung 4).

Um als Risikominderungsmaßnahmen im Sinne der Zulassung zu gelten, muss eine Maßnahme gewisse Kriterien erfüllen, wie z.B. Effektivität, Nachprüfbarkeit, und Übereinstimmung mit landwirtschaftlicher Praxis (Liebig et al. 2014). Ganz wichtig dabei ist, dass die Wirkung der Maßnahme quantifiziert werden und somit in den Berechnungen der Umweltexposition miteinfließen kann.

Um zu greifen müssen diese Maßnahmen von den Adressaten der Risikominderungsmaßnahme umgesetzt werden. Sie werden in den Fachinformationen und den Beilagen der Produkte aufgeführt, mit dem Ziel, ein Verhalten zu verursachen, dass über die gute landwirtschaftliche Praxis hinausgeht (Montforts et al., 2004).

Abbildung 4: Ablaufdiagramm mit den Möglichkeiten der Anwendung von Risikominderungsmaßnahmen im Zulassungsverfahren für Tierarzneimittel (nach Liebig et al., 2014)



Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Liebig et al. (2014) entwickelten einen Katalog von Riskominderungsmaßnahmen, die die Kriterien der Tierarzneimittelregulierung erfüllen und somit auf der Packungsbeilage („Package Leaflet“) eines Produktes aufgeführt werden dürfen. Sie lassen sich wie folgt gruppieren:

- ▶ Zwei Maßnahmen, die der fachgerechten Entsorgung von Tierarzneimittel (als Sonderabfall) dienen, und die an den Tierarzt bzw. Anwender adressiert sind.
- ▶ Zwei Maßnahmen für Aquakultur
- ▶ Acht Maßnahmen zum Umgang mit tierarzneimittelbelasteter Gülle, die an den Landwirt im Ackerbau adressiert sind (mit Vorschriften zu Mindestlagerzeit, Anwendung auf hanggeneigten Flächen, Verdünnung mit unbelasteter Gülle, Anwendung auf Böden mit hohem C-Gehalt, rascher Einarbeitung der Gülle, und maximale Anwendung in einem Jahr).
- ▶ Vier Maßnahmen für die Tierarzneimittelanwendung in Weidetieren, die an den Tierarzt bzw. Tierhalter adressiert sind (mit Vorschriften zum Verbleib im Stall nach Anwendung, Zugang zu Gewässern, saisonale Anwendung, Bewegung der behandelten Herde in verschiedenen Jahren)
- ▶ Drei Maßnahmen für die Tierarzneimittelanwendung in Weidetieren und intensiv produzierende Betriebe, die eine jeweils an Tierarzt bzw. Tierhalter, Benutzer, und Landwirt adressiert sind (keine vorsorgliche Behandlung, Entsorgung von Tauchresten und -wasser, und Begrenzung der maximalen Wassermenge, die auf landwirtschaftlichen Feldern angewendet werden kann).

Wie eingangs erläutert, lassen sich für all diese Maßnahmen die theoretischen Minderungswerte für Tierarzneimittel in der Umwelt ausrechnen. Studien, die den Erfolg dieser Maßnahmen in der Praxis evaluiert haben, bleiben allerdings aus. In Fachkreisen gibt es erheblichen Zweifel zur Einhaltung dieser Riskominderungsmaßnahmen in der praktischen Anwendung. Besonders für diejenigen Maßnahmen, die Vorschriften zur Düngung mit tierarzneimittelbelasteter Gülle formulieren, scheint

eine große Kluft zwischen Theorie und Praxis zu bestehen, da Gülle lokal vertrieben wird. Für eine korrekte Einhaltung der Risikominderungsmaßnahme müssten also die verschiedenen Parteien jeweils zu den eingesetzten Tierarzneimitteln und der dazu passenden Risikominderungsmaßnahme informiert werden. Alle relevanten Informationen müssten vom Landwirt, der die Gülle produziert an den Landwirt, der die Gülle einsetzt, weitergereicht werden – ggf. gibt es noch einen Vermittler dazwischen.

Es gibt keine belastbaren Studien, die den Erfolg der verschiedenen Risikominderungsmaßnahmen quantifiziert hätten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Risikominderungsmaßnahmen sind an den Verbraucher der Tierarzneimittel adressiert und beruhen auf die Vermittlung von Informationen zur sachgemäßen Anwendung, die auf z.B. Beipackzetteln zu finden sind. Ihr Erfolg steht und fällt mit der erfolgreichen Vermittlung dieser Information, von der eine mögliche Einhaltung der Vorschriften letzten Endes abhängt.

Teilnehmer eines Expertenworkshop aus ganz Europa zur Nutzen-Risiko-Abwägung von Tierarzneimitteln (20.-21. Oktober 2015, Berlin, FKZ 3713 14 400) zweifelten daran, dass diese Maßnahmen die Risikominderung erzielen, die für die Risikominderungsmaßnahme in der Zulassung berechnet wird. Diese Maßnahmen werden weniger als Absicherung gesehen, sondern im besten Fall als Zusatzsicherung, deren Anwendung aber nicht überprüft wird. Auch Teilnehmer des Workshops zu dieser Fachbroschüre (9.-10. März 2016, Berlin) betonten, die Wirkung der vorgeschlagenen Maßnahmen auf Tierarzneimitteleinträgen sei höchstwahrscheinlich gering.

6.3 Maßnahme: Feldstreifen, Ackerrandstreifen oder Gewässerrandstreifen als Pufferzonen

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Natürlich belassene oder mit Gras oder Blühpflanzen bepflanzte Streifen auf landwirtschaftlichen Flächen (Zwischenfeldstreifen) oder an deren unteren Rändern (z.B. Ackerrandstreifen, Blührrandstreifen), werden seit einigen Jahren als Maßnahmen für den Schutz gegen Wassererosion, für den Abbau organischer Agrochemikalien (Unger et al. 2013), und für den Erhalt von Biodiversität (Jahn et al. 2014) eingesetzt. Während für Biodiversitätszwecke vor allem die Blumenmischung und die Kontinuität der Flächen von Bedeutung sind, sind für Wassererosion und Agrochemikalien hydrologisch relevante Parameter wie räumliche Disposition und Breite, aber auch Art der pflanzlichen Bedeckung – welche wiederum Einfluss auf mikrobiologische Aktivität im Boden ausübt - von größter Bedeutung.

Gewässerrandstreifen unterscheiden sich von Feld- oder Ackerrandstreifen hauptsächlich in ihrer Platzierung, unmittelbar neben und entlang Oberflächengewässern. Sie werden in der Regel breiter angelegt als Feldrandstreifen und weisen des Öfteren nicht nur Gras oder andere Halmpflanzen, sondern auch Büsche und Bäume auf.

Pufferzonen mindern die Einträge von Tierarzneimitteln und weitere organische Schadstoffe in Gewässer, indem sie:

- ▶ die Infiltration erhöhen, und somit Boden-Wasser-Interaktionen steigern.
- ▶ die Abflussgeschwindigkeit mindern, was eine Absetzung der partikelgebundenen Schadstoffe fördert.
- ▶ die Vielfalt der bodenmikrobiotischen Gemeinschaften fördern, die organische Schadstoffe abbauen können.

- ▶ diejenigen Bodeneigenschaften fördern, die zu einer vermehrten Sorption und Retention organischer Schadstoffe führen (Lin et al. 2011).
- ▶ die Sorption der Schadstoffe an Grashalme und Rasenfilz ermöglichen (Krutz et al. 2005).

Die Aufenthaltsdauer des Wassers in diesen Streifen ist entscheidend, um diese Prozesse überhaupt zur Entfaltung zu bringen. Darüber hinaus wird die Effektivität bepflanzter Feldstreifen von folgenden Faktoren beeinflusst: Schadstoffeigenschaften (z.B. schwach oder stark sorbierend), Pflanzenmischung, Bodeneigenschaften, Streifenbreite und –platzierung, Abflusstyp (in der Fläche oder in Rinnen), Landschaftsbild, und Klima und Wetter. Im Design der Feldstreifen kann auf die Faktoren Pflanzenmischung, Streifenbreite und Streifendisposition Einfluss genommen werden (Lin et al. 2011). Die Pflege der Streifen (Mähen, ggf. Beseitigung von Sedimenten) kann vonnöten sein, um den langsamen Abfluss „in der Fläche“ zu erhalten und somit den konzentrierten und schnellen Abfluss durch Wasserrinnen zu vermeiden; Wasserrinnen gelten als „Nemesis“ für die Schadstoffabbaufunktion von Pufferzonen (USDA 2000, in Reichenberger et al. 2007).

Da dauerhaft bewachsene Pufferstreifen auch dem Schutz vor Pflanzenschutzmitteleinträgen in Oberflächengewässer dienen, ergeben sich hier Synergien (vgl. Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP)).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Maßnahme limitiert nicht den Eintrag von Tierarzneimitteln in die Umwelt, mindert aber die Mengen, die von landwirtschaftlichen Flächen in angrenzende Bereiche und in Oberflächengewässer verfrachtet werden, da die Pufferzonen Abbau- und Sorptionsprozesse ermöglichen.

Experimentelle Daten zur Minderungswirkung von Feldstreifen auf Tierarzneimittelgehalte in Oberflächenabfluss finden sich in Lin et al. (2011). Diese Studie untersuchte die Wirkung von unterschiedlich breiten und verschieden bepflanzten Feldstreifen auf die Tierarzneimittel Sulfadimidin, Enrofloxacin und Tylosin (wie auch einige Pflanzenschutzmittel). Schon bei geringen Breiten zeigten die Feldstreifen hohe Effektivität im Tierarzneimittelabbau. Über 75 % des vorhandenen Sulfadimidin wurde in einem 4 Meter breiten Feldstreifen abgebaut (unabhängig von der Bepflanzung); vergleichbare Abbauraten (über 70 % bei 4 Metern Streifenbreite) wurden für Enrofloxacin und Tylosin nur bei einer Rohrschwengel-Bepflanzung erreicht (Lin et al. 2011).

Für Pflanzenschutzmittel ist die Wirkung von Feldstreifen viel besser analysiert; die Mehrheit der experimentell bestimmten Minderungsraten liegen über 50 %. In einer Literaturanalyse mit 277 Datenpunkten lagen die Medianwerte der Minderungsraten für Streifen zwischen 1 und 10 Meter Breite zwischen 65 und 95 % (Reichenberger et al. 2007). Allerdings können Abbauraten je nach Pflanzenschutzmittel sehr stark variieren. Eine Literaturstudie für neun häufig eingesetzte Pflanzenschutzmittel ergab Minderungsraten zwischen 11 – 100 % für Streifen zwischen 0,5 und 20,1 Meter Breite (Sabbagh et al. 2009, in Tang et al. 2012).

Feldstreifen gelten in der Fachliteratur als viel effektiver als Gewässerrandstreifen im Abbau von organischen Chemikalien, weil ein Abfluss in der Fläche („sheet flow“) in unmittelbarer Nähe zu den landwirtschaftlichen Flächen, die den Abfluss produzieren, wahrscheinlicher ist als bei erhöhter Entfernung (Reichenberger et al. 2007).

Ein wichtiger Aspekt ist die mögliche Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in den mikrobiologischen Gemeinschaften der Feldstreifenböden, in denen Tierarzneimittel abgebaut werden soll, wie auch die Beeinträchtigung dieser Gemeinschaften durch die Exposition an Antibiotika. Eine Beeinträchtigung der Mikrobiologie dieser Böden würde auch die Fähigkeit der Feldstreifen betreffen, organische Chemikalien abzubauen, weil der Abbau von eben diesen Mikroorganismen geleistet wird. In einer Studie wurden diese Fragen nachgegangen: Nach

Exposition zeigten die mikrobiologischen Gemeinschaften lediglich eine kurzfristige Beeinträchtigung in Funktionstests. Die Studienautoren kamen zum Schluss, dass die Exposition an Antibiotika in Feldstreifen keine Auswirkungen bezüglich Funktionalität und Resistenzen hervorbringt (Unger et al. 2012).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die wissenschaftliche Literatur betont den starken Einfluss ortsspezifischer Eigenschaften für die Wirkung von Feldstreifen (z.B. Kay et al. 2009). Insbesondere die Eigenschaften der Schadstoffe und der Böden sind nicht zu beeinflussende Größen, die wesentlichen Einfluss auf die Minderungsraten von organischen Stoffen in Feldstreifen haben. Wenngleich die derzeitige Datenlage noch sehr dünn ist, sind starke Unterschiede in den Minderungsraten für die verschiedenen Tierarzneimittel anzunehmen, wie auch für Pflanzenschutzmittel der Fall (Krutz et al. 2005, Reichenberger et al. 2007).

Wie auch oben erwähnt, ist diese Maßnahme nur wirksam, wenn der Abfluss im Feldstreifen flach ist und kein konzentrierter Rinnenabfluss entsteht (ibid.). Durch Pflege der Streifen (Mähen, ggf. Beseitigung von Sedimenten) kann dieser Tendenz entgegengearbeitet werden. Für Gewässerrandstreifen gibt es auch innovative Ansätze (z.B. Fugenbänder, Steifgrashecken) die einen kanalisierten Abfluss in einen Abfluss in der Fläche umwandeln können (Reichenberger et al. 2007).

Teilnehmer des Workshops zu dieser Fachbroschüre (März 2016) betonten, dass die Erfahrungen aus dem Bereich des Pflanzenschutzes nicht eins zu eins auf Tierarzneimittel übertragbar sein werden.

6.4 Maßnahme: Anpassung der Düngeterminierung (witterungsbedingt und saisonal)

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Diese Maßnahme wurde aus dem Pflanzenschutzmittelbereich abgeleitet; die Evaluierung ihrer Wirkung in der Praxis steht somit noch aus. Es stellen sich auch Fragen zu ihrer Praktikabilität und zum Einklang mit landwirtschaftlichen Praktiken. Dennoch zeigen die unten dargelegten Studien zum Abflussverhalten von Tierarzneimitteln auf Ackerfeldern wie auch zur Anpassung der Terminierung für Pflanzenschutzmittelanwendungen, dass diese Maßnahme ein bedeutsames Potenzial aufweist.

Eine witterungsbedingte Anpassung der Düngung könnte den Tierarzneimittel-Abtransport von Feldern hin zu Oberflächengewässern (durch Oberflächenabfluss und Drainagen) sehr bedeutend mindern. Wie stark der Einfluss der Witterung sein kann zeigt eine Studie, in der das gleiche Feld mit identisch tierarzneimittelbelasteter Gülle zu 2 verschiedenen Zeitpunkten behandelt wurde. Die nasserer Bedingungen nach der einen Gülleanwendung führten zu einem 22-fach höheren Sulfadimidin-Höchstwert im Oberflächenabfluss (3300 ng/L vs 150 ng/L). Auch der kumulierte Sulfamidin-Abtransport von der landwirtschaftlichen Fläche war mit einem 15-fachen Unterschied bedeutend höher (Stoob et al. 2007). Diesen wirksamen Einfluss der Witterungsbedingungen, wo Niederschlagsereignisse die Haupteinflussgröße auf den Abtransport bilden, ist durchaus vergleichbar zum Verhalten von Pflanzenschutzmitteln und Phosphat unter ähnlichen Bedingungen (ibid.). Die von der Landfläche abtransportierten Tierarzneimittelgehalte sanken in den ersten Tagen nach Gülleanwendung deutlich ab und waren nach 14 Tagen vernachlässigbar. Eine witterungsbedingte Gülleanwendung zu Zeitpunkten in denen trockene oder zumindest niederschlagsarme Wetterverhältnisse über die folgenden 2 – 4 Tage erwartet werden, könnte somit signifikante Minderungen im Tierarzneimittel-Abtransport als Folge haben. Ziel ist eine Vermeidung des Eintrages über Erosion und Abschwemmung aufgrund von Starkregenereignisse.

Für Pflanzenschutzmittel gibt es in UK langjährige Erfahrungen für eine witterungsbedingte Anpassung der Anwendungsterminierung. Als Teil der „Voluntary Initiative“ sind Anwendungen zu vermeiden, wenn innerhalb der nächsten 48 Stunden Starkregenereignisse vorhergesagt sind. In der Fachliteratur werden auch längere Fristen gehandelt, wie z.B. 72 Stunden ohne Regenereignisse (Kay et al. 2009). Auch einige Bundesländer implementieren ähnliche Maßnahmen aufgrund von Wetterprognosen im Rahmen des Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) (Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg 2015).

Eine saisonale Terminanpassung der Düngung ist auch denkbar – sie wird zu einem gewissen Grad auch schon in den Vorschriften der Düngeverordnung angewandt. Düngeranwendungen zu Zeitpunkten, in denen die Flächenverhältnisse einen Abfluss auf der Feldfläche verlangsamen, die erhöhte pflanzliche und mikrobiologische Aktivität den Abbau von Tierarzneimitteln begünstigen oder eine erhöhte pflanzliche Masse in den Ackerrandstreifen zu verbesserten Abflussbedingungen nach dem Feld führen können, würde sich günstig auf Tierarzneimittel-Konzentrationen in Oberflächenabfluss und Grundwasser auswirken.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Wie eingangs erwähnt ist die Anwendung dieser Maßnahme für Tierarzneimittel ein theoretischer Vorschlag, für die keine Erfahrungswerte und Wirkungen für Tierarzneimittel bekannt sind. Es ist zu erwarten, dass die Minderungsraten ungefähr in der Größenordnung derer sind, die mit dieser Maßnahme für Pflanzenschutzmittel erreicht werden. Für Pflanzenschutzmittel gilt die Wirkung dieser Maßnahme als bewiesen (Kay et al. 2009), und sie ist seit über ein Jahrzehnt fester Bestandteil der Maßnahmen der „Voluntary Initiative“ in UK. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass auch wenn das Umweltverhalten von Tierarzneimitteln und Pflanzenschutzmitteln in der wissenschaftlichen Literatur immer wieder als ähnlich evaluiert wird, die Form der Anwendung von Tierarzneimitteln (als Teil organischer Dünger) und die mit der Düngung eingehende Matrix unterschiedliche Ergebnisse hervorrufen müssen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Wirkung dieser Maßnahme auf die Tierarzneimittel-Werte in benachbarten Oberflächengewässern wird in diejenigen Arealen stärker sein, in denen Oberflächenabfluss einen höheren Beitrag zum Abtransport von Tierarzneimitteln leistet (Stoob et al. 2007), was mit Faktoren wie Hangneigung und Bodeneigenschaften zusammenhängt. In Landflächen mit hohen Infiltrationsraten und keine Hangneigung sollte diese Maßnahme eine viel geringere Wirkung entfalten. Allerdings lässt ihre flächendeckende Anwendung für Pflanzenschutzmittel in UK die Vermutung zu, dass die Wirkung in diesen Arealen, die weniger Oberflächenabfluss generieren, nicht ganz vernachlässigbar ist.

Die Möglichkeit ihrer Umsetzung wird vom zeitlichen Spielraum abhängen, den die Landwirte für die Ausbringung ihrer Dünger haben. Eine Pilotumsetzung, z.B. in Wasserschutzgebieten, in denen Landwirte freiwillige Vereinbarungen mit Wasserversorgungsunternehmen abschließen, könnte ihr weiteres Potenzial klären.

6.5 Maßnahme: Pflanzenkläranlagen zur Tierarzneimittelminderung im Oberflächenabfluss tierproduzierender Betriebe

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Pflanzenkläranlagen (auch „künstliche Feuchtgebiete“ bzw. „konstruierte Feuchtgebiete“ in der Forschung genannt) werden seit längerer Zeit zum Abbau von Nährstoffen im Oberflächenabfluss landwirtschaftlicher Betriebe eingesetzt (Kay et al. 2009). In verschiedenen Studien wurde auch ihr Potenzial für den Abbau diffuser Pflanzenschutzmitteleinträge festgestellt (Reichenberger et al. 2007). Es gibt auch erste Studien zu ihrer Minderungswirkung für Oberflächenabfluss von tierproduzierenden Betrieben, sowohl in Hinsicht auf Pathogenen (*E. coli*; Knox et al. 2007) wie in Hinsicht auf Tierarzneimittel (Carvalho et al. 2013). Besonders in Hinblick auf die Parallelen zwischen Tierarzneimitteln und Pflanzenschutzmitteln können Pflanzenkläranlagen eine Maßnahme für die Minderung der Emissionen von punktuellen Tierarzneimittel-„Hot-Spots“ (z.B. größere tierproduzierende Betriebe) in Betracht kommen, falls Untersuchungen problematische Tierarzneimittelgehalte in Oberflächengewässer feststellen würden.

Pflanzenkläranlagen bieten verschiedene Mikroumgebungen an, in welchen verschiedene Minderungsprozesse stattfinden können. Für Tierarzneimittel werden folgende Prozesse als relevant eingestuft (Carvalho et al., 2013): physikalische (mechanische Absetzung partikelgebundener Stoffe, Retention, Adsorption auf Substrat und/oder Biofilm), chemische (Abbau) und biologische (Aufnahme in pflanzliches Gewebe, Phytoverflüchtigung, mikrobielle Verstoffwechslung). Für verschiedene Stoffe können verschiedene Prozesse von Bedeutung sein: Carvalho et al. (2013) stellt Adsorption als vorherrschender Minderungsprozess für Enrofloxacin und eine Mischung von Adsorption und Abbau als Minderungsprozesse für Tetrazyklin.

Stark sorbierende Pflanzenschutzmittel mit Neigung zur Adsorption an Makrophyten weisen sehr hohe Minderungsraten in Pflanzenkläranlagen auf. Es gibt noch ungenügend Forschung zur Wirksamkeit dieser Anlagen für schwach oder moderat sorbierende Schadstoffe (Reichenberger et al. 2007).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

In einer Studie in herunterskalierten Labor-Mikrokosmen wurden Minderungsraten von mindestens 94 % für Tetrazyklin und 98 % für Enrofloxacin gemessen (1-wöchige Verweildauer). Darüber hinaus wurde auch die Gesamtoxizität des Wassers reduziert (Carvalho et al. 2013). Adsorption ans Substrat spielte die Hauptrolle in der Tierarzneimittelminderung, bei auch bedeutendem biologischem Abbau. Da Adsorption nicht unendlich ist, müssten weitere Studien – insbesondere Feldstudien – durchgeführt werden, um die Prozesse und somit das langfristige Abbaupotential dieser Maßnahme genauer zu bestimmen.

In einer Feldstudie zur Wirkung von Pflanzenkläranlagen auf mehrere Pflanzenschutzmittel wurden Minderungsraten von zwischen 20 – 70 % festgestellt (Hunt et al. 2008).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Datenlage zum Tierarzneimittel-Minderungspotential von Pflanzenkläranlagen ist noch sehr dünn – wenngleich die ersten experimentellen Ergebnisse für Tierarzneimittel und Parallele mit Pflanzenschutzmitteln (Reichenberger et al. 2007, Hunt et al. 2008) und mit Humanarzneimitteln (Carvalho et al. 2013) ein sehr hohes Potential erahnen lassen. Die Wirkungsgrenzen dieser Maßnahmen können aber zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abgesteckt werden.

Generell gilt, dass Pflanzenkläranlagen Instandhaltungsmaßnahmen bedürfen, um ihr Potential zur Schadstoffminderung aufrechtzuerhalten.

6.6 Maßnahme: Förderung von abflussbremsenden Strukturen und Vermeidung von abflussbegünstigenden Strukturen

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Langsamere Oberflächenabfluss von einer landwirtschaftlichen Fläche vermindert den Abtransport von Tierarzneimitteln dank mehrerer gleichzeitig wirkender Prozesse. Die reduzierte Fließgeschwindigkeit (Lin et al., 2011):

1. Erhöht die Bodeninfiltration und dadurch die Interaktionen der gelösten Tierarzneimittel in den Bodenhorizonten, was sowohl zu erhöhter Adsorption und erhöhtem chemischen und biologischem Abbau führen kann.
2. Begünstigt die Absetzung von Bodenpartikeln und den an ihnen gebundenen Schadstoffen.
3. Erhöht die Verweilzeit des Oberflächenabflusses auf der Feldoberfläche und dadurch die Wahrscheinlichkeit von sowohl Adsorption mit Bodenpartikeln und Pflanzenhalme wie auch chemischen und biologischen Abbau von Tierarzneimitteln.

Somit kann durch Förderung von Strukturen auf landwirtschaftlichen Flächen, die den Oberflächenabfluss bremsen, ein Beitrag zur Minderung von Tierarzneimitteln in der Umwelt geleistet werden. Dieser Beitrag geschieht in doppelter Hinsicht: Einerseits durch den schon erwähnten günstigeren Bedingungen für einen chemischen und biologischen Abbau, andererseits durch die verzögerte Emission der Tierarzneimittel von der Feldoberfläche, was zu geringeren Höchstwerten in Oberflächengewässern führen kann.

Ein Beispiel *abflussbremsender* Strukturen sind bewachsene Gräben an Feldrändern. Im Vergleich zu herkömmlichen Gräben wirkt die Bepflanzung abflusshemmend, was wiederum die Infiltration und die oben aufgelisteten Prozesse begünstigt. Mehrere Studien stellten sehr bedeutende Minderungsraten (zwischen 54 % und 99 %) für Pflanzenschutzmittel in diesen Strukturen fest (Schulz 2004, in Reichenberger et al., 2007). Maßnahmen dieser Art, wie auch weitere Maßnahmen, die den Wasserrückhalt in der Fläche begünstigen und Teil eines dezentralen, vorsorgenden Hochwasserschutzes sind wie z.B. die konservierende Bodenbearbeitung (vgl. Maßnahmen 7.8 und 7.9), können den Abtransport von Schadstoffen mindern und somit ggf. ihren Abbau fördern.

Umgekehrt können *abflussfördernde* Strukturen (wie z.B. Fahrgassen, die „Traktorspuren“ auf den Feldern) den Abtransport von gelösten und partikelgebundenen Schadstoffen begünstigen. Ihre Vermeidung bzw. ihre Anpassung (rechtwinklig zur Hangneigung) können den Eintrag von Tierarzneimitteln im Oberflächenabfluss verringern bzw. über die Zeit strecken und ihre Adsorption und Abbau auf den Feldern und im Boden begünstigen. Fahrgassen, die für die Pflegemaßnahmen auf den Feldern befahren werden, sind ein Hauptpfad für den Abtransport von Gülle, Wasser und gelösten Schadstoffen (Kay et al., 2005). Das Vermeiden bzw. das Minimieren der Zahl an Fahrgassen, die Bodenvorbereitung in den Fahrgassen und ihre Ausrichtung längs der Höhenlinien können Oberflächenabfluss mindern und somit den Abtransport von Tierarzneimitteln minimieren. Dies wird zum Teil schon in der landwirtschaftlichen Praxis umgesetzt, mit dem Ziel, Bodenverdichtung zu vermeiden. Wenn diese Umsetzung auch das Verhalten des Oberflächenabflusses auf der einzelnen landwirtschaftlichen Fläche mitberücksichtigt können gleichzeitig Bodenverdichtung vermieden und einen reduzierten Stoffeintrag geleistet werden.

Es sind aber auch Zielkonflikte zwischen den verschiedenen Schutzgütern und -maßnahmen möglich. Im Rahmen der ‚konservativen Bodenbearbeitung‘ wird meist im Vorfeld der Saat der

vorhandene Bewuchs mit Herbiziden vernichtet, statt durch mechanische Bodenbearbeitung (Pflügen). Allerdings bedeuten auch Herbizide eine Belastung der Umwelt – hier gilt es abzuwägen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

In einer experimentellen Studie mit zwei Veterinärantibiotika in Feldern mit und ohne Fahrgassen waren die abtransportierten Gesamtmengen von Tierarzneimitteln um einen Faktor 4 bzw. einen Faktor 13 höher auf der Fläche mit Fahrgassen (Kay et al., 2005). Die Zahlen zeigen die Bedeutung dieser Strukturen für den Abtransport und das Minderungspotential, wenn solche Strukturen auf landwirtschaftlichen Flächen richtig gestaltet werden.

Für abflussbremsende Strukturen sind uns keine Studien bekannt, die ihre Wirkung auf Tierarzneimittelgehalte quantifiziert hätten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Wie die meisten Maßnahmen, die auf dem Feld greifen, wirken diese Maßnahmen indem sie eine langsamere Ausbreitung von Tierarzneimitteln (was z.B. zu geringeren Höchstwerten in Gewässern führen kann) bzw. ihre zeitweilige Akkumulation in abflussbremsenden Arealen, in Böden und ggf. im Grundwasser begünstigen. Die längeren Verweilzeiten in z.B. Böden können den chemischen und mikrobiellen Abbau vieler Stoffe begünstigen, weniger leicht abbaubare Stoffe werden allerdings davon kaum betroffen sein. Somit leisten diese Maßnahmen für schwer abbaubare Stoffe eher eine Umverteilung des Stoffes in den verschiedenen Umweltmedien als eine Minderung der Umweltextposition.

6.7 Maßnahme: Flächenmanagement in tierhaltenden Betrieben

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Es gibt langjährige Erfahrungen mit Managementpraktiken für die Minderung von Nährstoffen, Pathogenen und Sedimenten im Oberflächenabfluss landwirtschaftlicher Betriebe (vgl. Aarons & Gurley, 2012), von denen manche auch für Tierarzneimittel geeignet sind. Die uns bekannten Studien beziehen sich allerdings auf tiertierhaltenden Betriebe in den Vereinigten Staaten (z.B. Nettisinghe et al., 2013, Miller et al., 2008), die zum Teil unter ganz anderen räumlichen, klimatischen und technischen Bedingungen wirtschaften. Voraussetzung für eine sinnvolle Umsetzung dieser Maßnahmen für Tierarzneimittel-„Hot-Spots“ wäre allerdings die Feststellung bedeutender Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt auf den Flächen deutscher Anlagen.

Die Forschung zeigt höchst unterschiedliche Tierarzneimittel-Werte in Böden eines landwirtschaftlichen Betriebes, je nachdem was für eine Funktion dieser Fläche zukommt. Ein Beispiel sind Areale, die zur Fütterung dienen, und die signifikant höhere Tierarzneimittel-Werte in den Böden als andere Areale der untersuchten Betriebe vorweisen (sechs- bis 50-fach höhere Konzentrationen je nach untersuchtem Stoff; Nettisinghe et al., 2013).

Ein angepasstes Flächenmanagement, das diese Zusammenhänge wie auch die Abflussverhältnisse auf dem Betriebsgelände mit berücksichtigt, kann den Abtransport von Tierarzneimitteln mit dem Oberflächenabfluss mindern und ihren Abbau fördern. Zum Beispiel können die Bestimmungen der Flächen so festgelegt werden, dass die Bereiche eines Betriebes, die höhere Tierarzneimittel-Werte aufweisen (in Rinderfarmen z.B. dort, wo sich Rinder sammeln) in der Regel, in hydrologisch günstigeren Arealen verortet werden. Auch können Futterareale, Nachtweiden und weitere Elemente, in denen es zu einer erhöhten lokalen Konzentration von Nähr- und Schadstoffen kommt, rotiert bzw.

strategisch verortet werden, sodass ihr Oberflächenabfluss durch Weideflächen fließt und letztere eine Wirkung als Pufferzonen (vgl. Maßnahme 6.3) entfalten können (Knox et al., 2007).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Das Flächenmanagement in tierhaltenden Betrieben wurde bis dato zur Minderung von Nährstoffen und Pathogenen eingesetzt. Es gibt noch keine wissenschaftlichen Studien, die ihre Wirkung auf Tierarzneimittel quantifiziert hätten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Diese Maßnahmen wirken, indem sie den Transportpfad von Tierarzneimitteln bis zu den Oberflächengewässern länger gestalten und den Transport dadurch verlangsamen. Die längeren Verweil- und Transportzeiten können den mikrobiellen Abbau vieler Stoffe begünstigen, allerdings werden weniger leicht abbaubare Stoffe davon weniger betroffen sein.

6.8 Maßnahme: Vermeidung des Aufkommens von tierarzneimittelhaltiger Sperrmilch

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Sperrmilch bezeichnet Milch, die nicht verkehrsfähig ist und damit nicht in den Handel gelangen darf. Darunter fallen sowohl Biestmilch (die wertvolle erste Milch nach der Geburt), als auch Milch, die aufgrund von möglichen Arzneimittelrückständen während der Behandlung und der Wartezeit gemolken aber nicht abgegeben werden darf. Schätzungen zufolge handelt es sich dabei um ca. 1-4 % der gesamterzeugten Milchmenge (Aust, 2013).

Die Biestmilch wird ausnahmslos an die Kälber gefüttert und trägt entscheidend zu deren Gesundheitsstatus bei. Bei der Entsorgung der Sperrmilch mit möglichen Arzneimittelrückständen befindet sich der Milchviehhalter in der Zwickmühle: Sie zu verfüttern bedeutet, dass er wesentlich unerwünschte Stoffe verfüttert, was bei der Überschreitung von Grenzwerten ein Verstoß gegen die Futtermittelverordnung darstellt. Zudem haben wissenschaftliche Studien bereits gezeigt, dass Sperrmilchfütterung an weibliche Kälber negative Auswirkungen auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von diesen als Milchkühe haben (Kesler, 1981). Weiter tragen Antibiotikarückstände in sub-therapeutischen Konzentrationen zu einer vermehrten Resistenzbildung bei. Auf der anderen Seite ist Milch ein wertvolles Futtermittel, dessen Entsorgung zu finanziellen Belastungen für den Erwerb von Ersatzfuttermitteln führt.

Bei der Entsorgung gelangen die bereits aufgefangenen Arzneimittelrückstände in der Milch in die Umwelt. Dieses könnte vermieden werden, beispielsweise wenn bei der Sammlung auf bestehende Strukturen zurückgegriffen würde. Ein denkbarer Ansatz wäre, die in der Sperrmilch enthaltenen Rohstoffe anderweitig zu nutzen, z.B. Caseine in der Bio-Kunststoffproduktion. Ein weiterer Ansatz wäre, behandlungsbedürftige Kühe gegen Ende ihrer Laktation mit der Behandlung direkt trocken zu stellen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Ein Trockenstellen zur Behandlung würde sich auch auf den Behandlungserfolg positiv auswirken und es würde keine Sperrmilch mehr anfallen. Durch Entwicklung von Strategien zur umweltgerechten Entsorgung bereits aufgefangener Sperrmilch könnten sehr effektiv Einträge in die Umwelt verhindert werden und einer Verbreitung von Resistenzen entgegengewirkt werden.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Natürlich verhindert das Trockenstellen nicht generell die Ausscheidung von Tierarzneimitteln – diese findet trotzdem über Harn und Kot ihren Weg in die Gülle. Aus ökonomischen Gründen eignet sich diese Möglichkeit jedoch auch nicht für Kühe zu Beginn oder während der Laktation. Muss eine Behandlung in diesem Stadium erfolgen, müssen andere Möglichkeiten geschaffen werden, wie der Tierhalter gesetzeskonform die erzeugte Sperrmilch entsorgen kann. Dazu wäre es notwendig, dass zunächst mehr Daten zum Sperrmilchanfall und zu Entsorgungspfaden gesammelt und ausgewertet werden. Auf dieser Basis können zukünftig Strategien zur umweltgerechten Entsorgung entwickelt werden und Empfehlungen ausgesprochen werden. Eine Sammlung der Sperrmilch zur Nutzung der Rohstoffe setzt eine geeignete logistische Struktur voraus: Würde diese über die Abholung gleichzeitig mit der verkehrsfähigen Tankmilch erfolgen, müssten Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit von Lebensmittel Milch höchste Priorität erhalten.

6.9 Maßnahme: Fachgerechte Entsorgung von Medikamentenreste und Altmedikamenten

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Zur möglichen Bedeutung einer nicht fachgerechten Entsorgung von Medikamentenresten (vorwiegend in die Gülle und seltener in die Kanalisation) als Eintragspfad für Tierarzneimittel in der Umwelt gibt es so gut wie keine Informationen; das Forschungskonsortium kennt keine einzige wissenschaftliche Studie zum Thema. Einer Umsetzung von in Frage kommenden Maßnahmen, wie z.B. Rücknahmesysteme für Medikamentenbehälter, müsste eine Überprüfung der Bedeutung dieses Eintragspfades vorangestellt werden.

Für sowohl Pflanzenschutzmittel wie auch Humanarzneimittel kann dieser Eintragspfad sehr signifikant sein. Bei Pflanzenschutzmitteln kann die Verschmutzung durch punktuelle Verschmutzungsquellen – zu denen die Einträge beim Ausfüllen oder Reinigen der Sprühgeräte und die nicht fachgerechte Restbestände-Entsorgung auf dem Hof zählen – sogar bedeutender sein als die Einträge durch die Anwendung auf den Feldern (diffuse Eintragsquellen) (Seel et al., 1994, Fischer et al., 1998, in Reichenberger et al., 2007). Auch für Humanarzneimittel gilt die unsachgemäße Entsorgung von unverbrauchten Medikamenten über Abfluss und Toilette als bedeutender Eintragspfad (UBA, 2014b).

Für Tierarzneimittel hängt die Frage der sachgemäßen Entsorgung mit dem individuellen Stoff zusammen, da manche vom Tierarzt verabreicht werden, und bei manchen der Landwirt für die Verabreichung zuständig ist. Als erste Einschätzung aufgrund praktischer Erfahrungen glaubt das Forschungskonsortium, dass das Problem der Restbestände sich eher bei den Tierarzneimitteln stellt, die in größeren Behältern vermarktet werden, da diese Wiederverwendung auf den Höfen finden könnten, es aber laut Arzneimittelgesetz nicht dürften. Bei den kleineren Behältern handelt es sich in der Regel um mit einem Gummi versiegelte Glasflaschen oder Applikatoren, die mit dem Hausmüll entsorgt werden; die Restbestände sollten somit nicht in die Umwelt gelangen. Es besteht auch beispielsweise bei großen Packungsgrößen die Möglichkeit, dass der Landwirt die nicht verbrauchten Tierarzneimittel aufhebt und sie bei ähnlicher Symptomatik zu einem späteren Zeitpunkt anderen Tieren verabreicht und dazu eine Wiederverschreibung von seinem Tierarzt bekommt.

Für den Fall, dass künftige Untersuchungen bedeutende Einträge in die Umwelt durch diesen Eintragspfad feststellen würden, ließen sich verschiedene Maßnahmen ergreifen. Rücknahmesysteme für unverbrauchte Medikamente könnten in Analogie zu denen für Humanarzneimittel aufgestellt werden, welche zu guten Erfolgen in einigen EU-Ländern führten.

Auch Rücknahmesysteme für leere und fast leere Tierarzneimittelbehälter, wenn sie mit entsprechenden Kommunikationsmaßnahmen unterstützt werden, scheinen aufgrund Erfahrungen für andere Stoffgruppen vielversprechend (Reichenberger et al., 2007). Obwohl viele Tierärzte ungenutzte Tierarzneimittel auch zurücknehmen, wird in der Praxis nicht immer von diesem Angebot Gebrauch gemacht.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Erfolgsquote von Rücknahmesystemen für unverbrauchte Medikamente für Humanarzneimitteln schwankt sehr stark in den verschiedenen EU-Mitgliedsländern, und hängt mit Faktoren wie Bekanntheit der Rücknahmesysteme unter der Bevölkerung, Eigenschaften des Gesundheitssystems, wie auch kulturelle Einflussgrößen zusammen. Bis zu 73 % Prozent der schwedischen Bevölkerung würde vom Rücknahmesystem der nationalen Apothekenkette Gebrauch machen (Vidaurre et al., 2010). Dies ist allerdings der womöglich höchste Wert innerhalb der Europäischen Union.

Rücknahmesysteme für gebrauchte Behälter können ähnlich hohe Erfolgsquoten vorweisen: In Belgien erzielte ein solches System für Pflanzenschutzmittel eine Sammelrate von über 90 % (Reichenberger et al., 2007).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Erfolg von Rücknahmesystemen für unverbrauchte Medikamente und für Behälter mit Restbeständen bedarf, dass die relevanten Akteure sowohl die Rücknahmesysteme wie auch die Notwendigkeit ihres Gebrauchs kennen.

Teilnehmer des Workshops zu dieser Fachbroschüre (März 2016) betonten, die Maßnahme ist nur als sinnvoll einzustufen, wenn Minderungspotential wirklich vorhanden sei, was aber beim derzeitigen Forschungsstand nicht bekannt ist. Die teilnehmenden Tierärzte sahen eher geringes Potential: Nach ihrer Einschätzung fallen dank der sogenannten „7 Tage – Regelung“ kaum Tierarzneimittelreste an. Eine Praxis, die aus Umweltsicht fraglich erscheint, ist die Entsorgung des Spülwassers aus den Tierarzneimittel-Versorgungsleitungen in die Gülle. Initiativen zur fachgerechten Entsorgung sollten auch diesen Entsorgungsweg behandeln.

6.10 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

Die Maßnahmen zur Expositionsminimierung unterscheiden sich deutlich in Hinsicht auf die Vorerfahrungen, die es von ihnen gibt, und somit auf das vorhandene Wissen für eine erfolgreiche Umsetzung in der Praxis. Während es langjährige Erfahrungen mit Erosionsschutzstreifen, Ackerrandstreifen und Gewässerrandstreifen gibt, sind Maßnahmen wie die Anpassung der Düngeterminierung und Pflanzenkläranlagen (in Bezug auf Tierarzneimittel) derzeit eher theoretischer Natur, für die praktische Erfahrungen fehlen.

Für Letztere könnte die Politik wissenschaftliche Studien und praktische Pilotvorhaben anstoßen. Die Maßnahmen müssten auf ihre Anwendbarkeit unter den klimatischen, landwirtschaftlichen und sozialen Bedingungen Deutschlands überprüft werden. Pilotvorhaben können auch gute Praktiken für die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen identifizieren (z.B. für die Maßnahme „Vermeidung von tierarzneimittelhaltiger Sperrmilch“, Kapitel 6.8). Eine weitere wichtige Frage wäre die der veränderten Wirksamkeit der Maßnahme über die Zeit, wie z.B. bei Pflanzenkläranlagen (Kapitel 6.5).

Einige der Maßnahmen in diesem Kapitel wie Ackerrand- und Gewässerrandstreifen werden in der Landwirtschaft schon umgesetzt und können es in Zukunft noch häufiger sein (z.B. durch Änderungen in der Agrarpolitik, vgl. auch Kapitel 10). Die Potenziale, durch eine Maßnahme

mehrere Schutzgüter gleichzeitig zu schützen ist in dieser Hinsicht sehr beträchtlich. Erosionsschutzstreifen, Ackerrandstreifen und Gewässerschutzstreifen sind wichtige Habitate für verschiedene Tierarten, und werden für Biodiversitätszwecke durch die neue Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union zunehmend gefördert. Gleichzeitig können diese Maßnahmen den Eintrag von Nähr- und Schadstoffen in das Grund- und Oberflächenwasser mindern; auch für diese Stoffgruppen gibt es Umsetzungspläne und Förderinstrumente. Eine Umsetzung, die die verschiedenen Potenziale einzelner Maßnahmen im Auge behält, kann Ressourcen hochwirksam für den Umweltschutz einsetzen.

Ferner können Maßnahmen eines dezentralen, vorsorgenden Hochwasserschutzes, der den Wasserrückhalt in der Fläche begünstigt, wie auch Maßnahmen, die Bodenerosion von landwirtschaftlichen Flächen mindern, bedeutende Beiträge für die Minderung von Stoffeinträgen leisten (s. auch Kapitel 7). Auch hier kann eine sorgfältige Planung existierende Mittel wirksam für den gleichzeitigen Schutz mehrerer Schutzgüter einsetzen.

7 Landwirtschaftliche Praxis

*Evelyn Lukat,
mit Unterstützung von Stefanie Albrecht
Ecologic Institut*

Maßnahmenüberblick:

7.2	Maßnahme: Verschärfung der bedarfsgerechten Düngung	132
7.3	Maßnahme: Angepasste Ausbringung von flüssigem Wirtschaftsdünger	134
7.4	Maßnahme: Anpassung der Sperrfristen und Düngung nach Nährstoffbedarf	135
7.5	Maßnahme: Einführung bundeseinheitlicher Vorgaben für das Fassungsvermögen von Anlagen zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern	136
7.6	Maßnahme: Präzisierung der Beschränkungen für das Aufbringen von Düngemitteln	137
7.7	Maßnahme: Bodenverdichtung vermeiden	138
7.8	Maßnahme: Humusgehalt erhöhen und biologische Aktivität fördern	139
7.9	Maßnahme: Erosionsschutz	140

7.1 Problemstellung

Die landwirtschaftliche Praxis orientiert sich auch bei der Bodenbearbeitung an Vorgaben, die zum einen durch EU-weite Regelungen oder auch durch landesweite Regelungen bestimmt werden. Zur Minderung des Eintrages von Tierarzneimitteln in Boden und Wasser sind die gute fachliche Praxis der Bodenbearbeitung sowie die Vorgaben zur fachgerechten Düngung entscheidend. Durch diese Vorgaben in Gesetzen und Verordnungen werden zum einen die Menge der Tierarzneimittel durch die Grenzwerte der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger bestimmt, zum anderen aber auch die Mobilität dieser im Boden und Wasser beeinflusst durch bestimmte Maßnahmen der Bodenbearbeitung. Im Folgenden wird auf die Umsetzung der Aspekte der guten fachlichen Praxis und der fachgerechten Düngung im Gesetz eingegangen und die Implikationen für die Praxis erläutert.

Gesetzliche Grundlage

Die gute fachliche Praxis der Bodenbearbeitung ist in Deutschland in zwei Gesetzen definiert, im Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) und im Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG).

Das Bundes-Bodenschutzgesetz definiert die gute fachliche Praxis als „die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource“ (§ 17 Abs. 2 Satz 1, BBodSchG). Darüber hinaus werden in sieben Unterpunkten Beispiele gegeben, was die genannten Grundsätze erfordern. Das Bundes-Bodenschutzgesetz liefert allerdings weder eine rechtliche Grundlage zur Konkretisierung und Operationalisierung der Definition, noch befugt es die zuständigen Behörden, die Umsetzung anzuordnen (LABO, 2014). Darüber hinaus soll laut Gesetz gute fachliche Praxis Bestandteil von Beratungen der Landwirte sein, um somit in die Praxis umgesetzt zu werden. Die Beratungen werden von den Bundesländern organisiert und umgesetzt.

Im Bundesnaturschutzgesetz wird zum einen auf den § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes Referenz genommen, zum anderen hebt es fünf naturschutzrelevante Aspekte hervor, dessen Rechtsstatus strittig ist (LABO, 2014). Allerdings definiert das Naturschutzgesetz, dass generell Eingriffe in die Natur genehmigungspflichtig sind. Dementsprechend gibt es eine gesetzliche Grundlage, Eingriffe, die der guten fachlichen Praxis widersprechen und die keine Genehmigung erhalten haben, zu sanktionieren. Dieser rechtliche Weg ist aber bisher kaum in Anspruch genommen worden (LABO, 2014). Selbst wenn Zuwiderhandlungen im Rahmen des Bundesnaturschutzgesetzes sanktioniert werden sollten, sind rechtlich keine Kontrollinstrumente definiert auf deren Basis eine Sanktionierung erfolgen könnte. Gleiches gilt für das Bundes-Bodenschutzgesetz.

Tierarzneimittel in der Umwelt sind bisher weder innerhalb der guten fachlichen Praxis noch in den genannten Politiken thematisiert. Allerdings wirken sich landwirtschaftliche Praktiken auf den Eintrag von Tierarzneimitteln in der Umwelt, ihre Speicherung, Mobilität, Verlagerung oder ihren Abbau aus.

Landwirtschaftliche Praxis und gute fachliche Praxis

Landwirtschaftliche Böden werden mit schweren Maschinen bearbeitet, welches langfristig die Bodenpartikel verdichtet und natürliche Hohlräume im Boden minimiert. Oberflächliche Verdichtung ist durch die Auflagefläche der Maschinenräder bedingt, welche mit dem Reifendruck variiert werden kann. Das Gewicht der Maschine wirkt sich vor allem auf den Boden unter dem sogenannten Pflughorizont (bis ca. 30 cm Tiefe) aus und kann ebenso die Ursache von Verdichtungen sein. Bodenverdichtung ist die Kompaktation der festen Bodenbestandteile, wodurch das Porenvolumen, dadurch Bodenluft und die Porenkommunikation verringert wird, wodurch die Wasserdurchlässigkeit des Bodens (hydraulische Konduktivität) reduziert wird (Huber et al., 2008). Bodenverdichtung tritt vor allem bei feuchten Böden auf, da der Scherwiderstand (die Kraft, die auf den Boden aufgebracht werden muss damit das Bodengefüge nachgibt), durch den hohen Wassergehalt verringert wird. Tonreiche Böden sind anfälliger als sandige Böden (Fleige et al., 2002). Eine oberflächliche Verdichtung kann zu gesteigertem Oberflächenabfluss und damit einhergehender Bodenabtragung führen (Scheffer et al., 2002). Mit dem Boden können auch Tierarzneimittel, die an Bodenpartikeln oder organische Bodensubstanz adsorbiert sind, abgetragen werden und in die Vorfluter gelangen. Durch die Verringerung des Porenraums im Boden können anaerobe Zonen entstehen. Die Abwesenheit von Sauerstoff in diesen hemmt zunächst die Abbauaktivität der Mikroorganismen (Canbolat et al., 2006; Neve & Hofman, 2000) und führt langfristig zu einer Verschiebung der Mikroorganismengemeinschaft (Canbolat et al., 2006; Frey, 2010). Dadurch kann die Abbauleistung unter anderem von Tierarzneimitteln verringert werden.

Im Bundes-Bodenschutzgesetz ist der Vermeidung von Bodenverdichtung daher auch in der Illustration der guten fachlichen Praxis Rechnung getragen. Es definiert in § 17 Abs. 2 die Grundsätze (1) standortangepasste Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung, (2) Bodenstruktur erhalten oder verbessern sowie (3) Bodenverdichtungen, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks, so weit wie möglich vermeiden.

Tierarzneimittel gelangen hauptsächlich durch die Ausbringung von Wirtschaftsdünger sowie bei Freilandhaltung direkt über die Ausscheidungen in die Umwelt. Allerdings wird ihr Eintrag bei der Berechnung der benötigten oder erlaubten Menge der auszubringenden Wirtschaftsdünger nicht berücksichtigt. Diese sollte sich zunächst am Nährstoffbedarf der Ackerkultur, der im Boden verbliebenen Nährstoffmenge, am Boden-pH, Humusgehalt und an den Standortbedingungen wie Klima oder Bodenart orientieren und wird für Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in der Düngeverordnung definiert (siehe unten). Insbesondere in Gegenden mit einem hohen Anteil der Tierproduktion an der landwirtschaftlichen Wirtschaftsleistung wird ein hoher Nährstoffüberschuss auf den Flächen beobachtet, der den Nährstoffbedarf der Ackerkultur weit überschreitet (BMU & BMELV, 2012). Bei übermäßiger Düngung, das heißt einer Düngung die nicht den oben genannten Kriterien des Düngebedarfs entspricht, sind neben den genannten Nährstoffüberschüssen auch Nährstoffeinträge in Oberflächenwasser und Grundwasser zu beobachten, welches den ökologischen Zustand der Gewässer verschlechtert. Grundsätzlich gilt auch für die mit dem Wirtschaftsdünger eingetragenen Tierarzneimittel: je mehr Wirtschaftsdünger auf die Flächen aufgebracht wird, desto höher ist die potenzielle Konzentration in den betroffenen Umweltmedien (Hannappel et al., 2014).

Das Wirkungsgefüge zwischen Tierhaltung, Bodenbearbeitung und resultierender Wirtschaftsdüngerausbringung ist ebenso in den Kriterien der guten fachlichen Praxis des Bundesnaturschutzgesetzes festgehalten (§ 5 Abs. 2): (4) die Tierhaltung hat in einem ausgewogenen Verhältnis zum Pflanzenbau zu stehen und schädliche Umweltauswirkungen sind zu vermeiden; (6) die Anwendung von Düngemitteln [...] hat nach Maßgabe des landwirtschaftlichen Fachrechtes zu erfolgen; eine Dokumentation über die Anwendung von Düngemitteln ist nach Maßgabe des § 7 der Düngeverordnung [...] zu führen.

Die Prozesse innerhalb des Bodens sind für das Verhalten und den Verbleib von Tierarzneimitteln maßgeblich. Eine wichtige Funktion des Bodens ist die Adsorption von Substanzen, die mit der Düngung in den Boden gelangen, welche Pflanzennährstoffe aber auch Schadstoffe wie Tierarzneimittel umfasst. Die Adsorptionsfähigkeit des Bodens hängt unter anderem vom Humusgehalt und den vorkommenden Tonmineralien des Bodens ab. Tierarzneimittel haben je nach Struktur ein unterschiedliches Umweltverhalten. Für viele Tierarzneimittel gilt allerdings, dass sie entweder an Bodenpartikel und hier vor allem die organische Substanz adsorbieren (Chu et al., 2013; Scheffer et al., 2002) oder sich in der Bodenwasserlösung befinden (Chee-Sanford et al., 2012). Tierarzneimittel, die adsorbiert sind, sind vorübergehend nicht für den mikrobiellen Abbau verfügbar. Einige Substanzen binden sich so stark an Bodenpartikel, dass sie dazu tendieren, sich im Boden zu akkumulieren (z.B. Tetrazykline, Makroklide (Engels, 2005; Winckler et al., 2004)). Bei Abbau der organischen Materie durch abiotische und biotische Prozesse werden die adsorbierten Wirkstoffe freigesetzt. Wenn diese antibakteriell wirken, kann eine negative Wirkung auf die Bodenfauna nicht ausgeschlossen werden und eine verzögerte Abbaureaktion ist in einigen Studien nachgewiesen worden (Thiele-Bruhn, 2003). Vor allem die biotischen Abbauprozesse sind für den Abbau von Tierarzneimitteln relevant (Lin et al., 2010). Ist die Bodenfauna zum Beispiel durch Schadstoffe geschädigt, ist auch der Abbau der organischen Substanz vermindert, welche eine wichtige Quelle für die nachhaltige Nährstofflieferung aber auch der entscheidende Faktor für das Wasserspeichervermögen des Bodens ist (Scheffer et al., 2002).

Intensiver Ackerbau wirkt sich unter anderem auf die organische Substanz des Bodens aus. Durch Bodenbearbeitung wird der Boden gelockert und belüftet, wodurch die organische Bodensubstanz schneller mineralisiert wird. Wenn keine Zufuhr von organischer Substanz stattfindet (z.B. durch verbleibende Pflanzenreste wie Stroh, Wurzelmasse, Zwischenfruchtanbau oder organische Düngung), verringert sich der Humusgehalt des Bodens nach und nach. Dementsprechend haben landwirtschaftliche Ackerstandorte das Risiko, durch den Humusverlust, die wertvollen Eigenschaften zu verlieren. Daher ist in der guten fachlichen Praxis im Bundes-Bodenschutzgesetz (§ 17 Abs. 2) festgehalten, dass (7) der standorttypische Humusgehalt des Bodens insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität erhalten werden und (6) die biologische Aktivität des Bodens durch entsprechende Fruchtfolgegestaltung erhalten oder gefördert werden sollte. Die organische Substanz wird unter Grasland gut erhalten (Chu et al., 2013), da hier keine belüftende oder wendende Bodenbearbeitung stattfindet. Das Bundes-Naturschutzgesetz erkennt den Wert des Grünlands für den Schutz des Humus im Boden an und fordert Grünlanderhalt auf Moorstandorten (§ 5 Abs 2 (5)).

Die wichtigsten Funktionen des Bodens sind prinzipiell von der Beschaffenheit der oberen Bodenhorizonte, den O und A Horizonten, abhängig. Daher ist es notwendig, diese trotz Bodenbearbeitung zu schützen, um ihre Funktionen zu erhalten. Im Bundes-Bodenschutzgesetz (§ 17 Abs. 2) dazu heißt es: (4) Bodenabträge [sollen] durch eine standortangepasste Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung, möglichst vermieden werden. Das Bundesnaturschutzgesetz spezifiziert (§ 5 Abs. 2 (5)), dass Grünlandumbruch auf Moorstandorten, erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten und auf Standorten mit hohem Grundwasserstand unterlassen werden soll. Im Hinblick auf die Minderung von Tierarzneimitteln ist zum einen ihre Immobilisierung durch Adsorption im Boden zu nennen. Durch Erosion können Bodenpartikel in Vorfluter gelangen. Erosionsschutz ist dementsprechend auch als Gewässerschutz zu betrachten.

Wichtige Elemente zur Reduktion von Winderosion, aber auch zur Risikominderung für den Eintrag von Tierarzneimitteln in Gewässer ist die Anlage bzw. der Erhalt von naturbetonten Strukturelementen der Feldflur, insbesondere Hecken, Feldgehölze, Feldraine und Ackerterrassen, die zum Schutz des Bodens notwendig sind (§ 17 Abs. 2 (5), BBodSchG). Das Bundesnaturschutzgesetz nennt ebenso den Erhalt dieser Strukturelemente, weist hierbei allerdings

ausschließlich auf den positiven Effekt der Biotopvernetzung hin, wobei der Bezug zum Feld und zum Bodenschutz nicht hergestellt wird (vgl. § 5 Abs. 2, 3). Diese Strukturen verbessern den Humusgehalt im Boden, erhöhen die Infiltration von Wasser und reduzieren damit den Oberflächenabfluss. Sie wirken sich damit vielfältig positiv auf die Umwelt und den Verbleib von Tierarzneimitteln in der Umwelt aus (siehe auch 6.3).

Die fachgerechte Düngung

Die fachgerechte Düngung ist ebenso in den Leitsätzen für eine gute fachliche Praxis festgehalten. Regelungen dazu sind in der Düngeverordnung festgehalten, gemeinsam mit dem Düngegesetz ist sie das Umsetzungsdokument für die EU-Nitratrichtlinie (91/676/EWG). Die Düngeverordnung ist derzeit in Überarbeitung, da im Juli 2013 die EU-Kommission wegen mutmaßlich unzureichender Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland einleitete. Aus Sicht der EU-Kommission sind folgende Maßnahmen erforderlich, damit neben den Zielen der Nitratrichtlinie auch die der Wasserrahmenrichtlinie erreicht werden:

1. Vorgaben zur Begrenzung der Düngung und zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen,
2. Vorgaben zur Verlängerung der Sperrfristen für die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln im Herbst und Winter,
3. Vorgaben zur Erhöhung der Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger,
4. Regelung für die Düngung in der Nähe von Wasserläufen und im hängigen Gelände,
5. Beschränkung der Düngung auf gefrorenen und schneebedeckten Böden und
6. präzisere Vorgaben zur Ausbringungstechnik.

Die anstehende novellierte Düngeverordnung greift diese Ziele auf und führt zur verschärften Maßnahmen, um die Ausbringung von Stickstoff und Phosphat zu verringern.

Die verschärften Regelungen können positive Auswirkungen auf die Ausbringung von Tierarzneimitteln haben, auch wenn diese in der Düngeverordnung nicht erwähnt werden. Die Verlängerung von Sperrfristen, Mindestlagerkapazitäten und erhöhte Einschränkungen bei der Ausbringung nahe Gewässern und auf schneebedecktem Boden werden im Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung angepasst. Die Schneebedeckung wird künftig vermutlich nicht mehr näher spezifiziert werden, wie in der rechtskräftigen Version von 2007 der Fall ist („durchgängig höher als fünf Zentimeter mit Schnee bedeckt“, §3(5)). Sie werden im Folgenden als neue technische Maßnahmen aufgegriffen und mit Tierarzneimittelstudien zu den jeweiligen Maßnahmen wie z.B. Lagerung von Dünger verglichen. Da bisher keine Studien zum Effekt der Maßnahmen auf die Reduktion von Tierarzneimitteln besteht, können nur begründete Vermutungen zu den Auswirkungen auf Tierarzneimittlexposition abgeleitet werden. Die Darlegung der Verschärfung bezieht sich auf den Entwurf der Düngeverordnung vom Juni 2015 (BMEL, 2015b).

7.2 Maßnahme: Verschärfung der bedarfsgerechten Düngung

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Die Vorschläge für die Reform der Düngeverordnung sehen vor, dass die Landwirte eine obligatorische Bedarfsermittlung vor der Düngeausbringung vornehmen und nach bundeseinheitlichen Standards dokumentieren müssen. Da der so ermittelte Düngebedarf gleichzeitig auch als standortbezogene gesetzliche Obergrenze für organischen und organisch-mineralischen Dünger festgelegt wird, kann der Eintrag von Tierarzneimitteln in die Umwelt verringert werden, da insgesamt die Menge des Wirtschaftsdüngers verringert wird.

Effizientere Nährstoffmanagement-Pläne könnten über die Vorgaben der Düngeverordnung hinaus unter Nutzung von spezifischen Instrumenten (z.B. Bodenanalysen, Nährstoffgehaltsermittlung in Wirtschaftsdünger) entwickelt werden und alle relevanten Einträge und Austräge (z.B. atmosphärische Deposition, Düngung, Pflanzenreste) berücksichtigen, wodurch eine Optimierung der Menge der eingebrachten Nährstoffe auf Grundlage der Umgebungsbedingungen (Bodentyp, Bedürfnisse der Pflanzen und Restnährstoffe) möglich wäre.

Berechnung und Auslegung des standortspezifischen Nährstoffgleichgewichts besteht aus (vgl. BMEL 2015b):

- ▶ Analyse des parzellenspezifischen Restnährstoffgehalts des Bodens unter Berücksichtigung des Bodentyps und der mineralisierten Pflanzenreste;
- ▶ Bestimmung des für den angestrebten Ertrag unter den bestehenden Umweltbedingungen erforderlichen Nährstoffeintrags;
- ▶ Analyse des Nährstoffgehalts von Wirtschaftsdünger, Bestimmung des Anteils an Mineraldünger zur vollständigen Deckung des Nährstoffbedarfs der Pflanzen sowie Berücksichtigung des Zeitraumes zwischen der Ausbringung und der Aufnahme von Nährstoffen.

Da der Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (Stand 22.6.2015, BMEL, 2015b) die gesetzlich erlaubten Nährstoffüberschüsse auf 50 kg/ha/a Nitrat sowie 10 kg/ha/a Phosphat verringert (im dreijährigen betrieblichen Mittel über alle Flächen), ist eine spezifische Bedarfsermittlung zur Einhaltung dieser Obergrenzen notwendig.

Insbesondere in den Regionen mit intensiver Tierhaltung sind die Böden bereits heute mit Phosphat überversorgt. Daher wird in Zukunft von diesen Regionen der Transfer von Wirtschaftsdünger in Gebiete mit weniger hohen Tierzahlen erhöht werden müssen. Das BMEL (2015b) schätzt die zusätzliche zu transferierende Menge auf 4,4 Mio. m³ Gülle, die im Durchschnitt ca. 15 km in eine geeignete Gegend transportiert werden müssen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Durch die verringerte Ausbringung von Düngemitteln tierischen Ursprungs kann in Regionen mit großen Viehbeständen eine Reduktion von Tierarzneimitteleinträgen in Boden und Gewässer erreicht werden. Flächenbezogen ist eine Minderung der Einträge von Tierarzneimitteln in derselben Größenordnung der Reduzierung der organischen Dünger zu erwarten. Durch die Umsetzung der Maßnahme werden Wirtschaftsdünger auch länger gelagert. Hierbei können Abbauprozesse im Wirtschaftsdünger stattfinden, welche die Gehalte der Tierarzneimittel weiter verringern können (siehe 5.2).

Allerdings lässt die Maßnahme außer Acht, dass die produzierte Menge an Wirtschaftsdünger und damit auch deren Tierarzneimittel-Gehalt in der Summe nicht reduziert wird sondern die Menge lediglich auf eine größere Region aufgeteilt wird.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Maßnahme ist letztendlich nur dann effektiv, wenn die Bedarfsermittlung von den Landwirten durchgeführt wird sowie die Obergrenzen eingehalten werden. Zum einen müssten hierfür die Düngepläne, die die oben genannten Komponenten des standortspezifischen Nährstoffgleichgewichts beachten, kontrolliert werden. Zum anderen würde ein verpflichtender Nachweis des Verbleibs der Wirtschaftsdüngermenge, die den Nährstoffbedarf der Ackerkulturen und des Grünlandes übersteigt, notwendig werden. Dieser könnte ebenso Gegenstand von Kontrollen zur Einhaltung der Obergrenzen sein. Für die Dokumentation der Landwirte müssten auch die Mengen des importierten und exportierten Wirtschaftsdüngers zentral abgelegt werden.

7.3 Maßnahme: Angepasste Ausbringung von flüssigem Wirtschaftsdünger

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Zur Vermeidung von gasförmigen Stickstoffverlusten ist derzeit eine unverzügliche Einarbeitung von flüssigen Wirtschaftsdünger und Geflügelkot vorgeschrieben, wenn diese auf unbestellte Ackerflächen ausgebracht werden. Im Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (Stand 22.6.2015, BMEL, 2015b) wird die Einarbeitungszeit konkretisiert und auf spätestens vier Stunden nach Beginn des Aufbringens festgelegt, was bereits Verwaltungsvorschriften vorgeben, aber mangelhaft umgesetzt wird. Weitere Möglichkeiten des bodennahen Auftrags von Wirtschaftsdünger um Emissionen in Luft und Oberflächenabfluss zu reduzieren sind Schleppschlauch- und Schleppschuhapplikatoren. Ab 2020 ist deren Verwendung auf bestelltem Ackerland obligatorisch. Eine anschließende Einarbeitung ist bei diesen Techniken weiter zielführend, was allerdings lediglich auf unbestellten Ackerstandorten umgesetzt werden kann. Per Injektionsverfahren oder Schlitzverfahren wird der Flüssigmist direkt in den Boden appliziert. Die technische Umsetzung variiert nach Bodenart und Pflanzenentwicklungsstand.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimiteleinträge in die Umwelt

Insbesondere für Antibiotika könnte die Wurzelnähe zu einem schnelleren Abbau führen (Jechalke et al., 2014). Bei Injektion des flüssigen Düngers in bestehende Pflanzungen bzw. bei rascher Einarbeitung von tierischem Wirtschaftsdünger in den Boden stehen die gelösten Tierarzneimittel direkt für den mikrobiellen Abbau zur Verfügung, was daher den Abbau von Tierarzneimitteln begünstigen kann. Die gelösten Tierarzneimittel können hier im Boden an die organische Masse und an die Bodenminerale adsorbieren. Dadurch werden sie für die Auswaschung ins Grundwasser immobilisiert, allerdings zunächst ebenso für den mikrobiellen Abbau. Es können auch Substanzen von Pflanzen aufgenommen werden (Kemper, 2008).

Dadurch, dass die Gülle nicht an der Oberfläche verbleibt, wird das Risiko des Oberflächenabtrags und des Eintrags von Tierarzneimitteln in Oberflächengewässer verringert (Sulfonamid und Tetrazyklin-Verbindungen, Kay et al., 2005). Die Einarbeitung könnte ein weiterer positiver Effekt auf den Abbau der Tierarzneimittel darstellen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Da die Einarbeitung von flüssigen Wirtschaftsdüngern und Geflügelkot innerhalb von vier Stunden bereits durch die Umsetzung der EG-Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen festgelegt ist und seit 2010/11 als Verwaltungsvorschrift gilt, hätte eine Aufnahme in die Düngeverordnung begrenzte Wirkung. Allerdings stellen Verstöße gegen die Düngeverordnung Ordnungswidrigkeiten dar, die mit Bußgeld geahndet werden können. Wenn aufgrund dieser geänderten rechtlichen Grundlage auch mehr Kontrollen durchgeführt werden, könnte die Umsetzung in der Praxis verbessert werden.

Eine verstärkte Umsetzung des Injektionsverfahrens könnte auch durch ökonomische Anreize durch Agrarförderprogramme (z.B. durch den europäischen Landwirtschaftsfond für ländliche Entwicklung) erreicht werden.

7.4 Maßnahme: Anpassung der Sperrfristen und Düngung nach Nährstoffbedarf

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Die Entwürfe zur Novellierung der Düngeverordnung sehen eine Verschärfung der Zeiten mit absolutem Ausbringungsverbot für Stickstoffdünger auf Ackerflächen vor (Sperrfrist). Nach der Ernte der Hauptkultur soll demnach eine Düngung nur noch für in der Verordnung definierte Kulturen mit Stickstoffbedarf erlaubt sein. Auch für Festmist ist eine Sperrfrist geplant.

Die Maßnahme gilt als Konkretisierung der pflanzenbedarfsgerechten Düngung. Für die Umsetzung der Maßnahme wird zusätzlicher Lagerraum für geschätzte 2,8 Mio. m³ Gülle gebraucht werden (BMEL, 2015b).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Verlängerung der Sperrfristen und damit einer geringeren Ausbringung von Wirtschaftsdünger in der kalten Jahreszeit führt vermutlich zu geringeren Tierarzneimittelgehalten in den Böden. Tierarzneimittel wurden insbesondere zum Ende der Wachstumsperiode vermehrt in Bodenproben nachgewiesen (Song et al. 2010). Die höhere Nachweisrate kommt vermutlich aufgrund kälterer Temperaturen zustande, welche die mikrobielle Aktivität und die chemische Reaktionsgeschwindigkeit verringert; daher werden die Tierarzneimittel langsamer abgebaut. Auch die biotische Aktivität der Pflanzenwurzeln ist in der kälteren Jahreszeit gehemmt, die auch den Tierarzneimittelabbau beeinflusst. Die Proben zum Ende der Wachstumsperiode wurden mit Proben, die innerhalb der Wachstumsperiode genommen wurden, verglichen. Trotz generell höherer Mengen an Tierarzneimitteln, die während der Monate Mai bis September auf die Flächen aufgebracht wurden, konnten weniger Tierarzneimittel festgestellt werden als in den Proben die von Oktober bis April genommen wurden.

Außerdem birgt eine Gülleanwendung in der kalten Jahreshälfte die Gefahr der oberflächlichen Abschwemmung, da Ackerflächen weniger stark bewachsen sind und den Wirtschaftsdünger nicht zurückhalten können. Mit der Ausweitung der Sperrfristen kann die Abschwemmung weiter verringert werden (Song et al. 2010).

Die Verlängerung der Sperrfristen zieht auch eine verlängerte Lagerung nach sich. Dadurch können einige Tierarzneimittel während der Lagerung bereits abgebaut werden (siehe auch Kapitel 5.2).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die hier zitierte Studie von Song et al. (2010) wurde bei Lansing in Michigan, USA durchgeführt. Michigan liegt wie Deutschland in der gemäßigten Klimazone und weist ähnliche Wachstumsperioden auf, weshalb von einer gewissen Übertragbarkeit ausgegangen werden kann.

Insbesondere die Einführung einer Sperrfrist für Festmist wird im Zuge der Novellierung der Düngeverordnung diskutiert. Da das Auswaschungsrisiko von Nährstoffen aus Festmist aufgrund von höheren Anteilen von organischer Substanz geringer ist als aus flüssigen Wirtschaftsdüngern, fordern BUND und Bioland, eine eingeschränkte bzw. keine Sperrfrist für Festmist einzurichten (BUND 2015, BIOLAND 2015). Im Hinblick auf viele Tierarzneimittel ist eine Sperrfrist für Festmist nur bedingt relevant. Einige Tierarzneimittel sind in Festmist an die organische Substanz adsorbiert und damit nicht von Auswaschung von Niederschlagswasser gefährdet. Allerdings können oberflächlich aufgetragene Festmiste mit dem Niederschlagswasser abgeschwemmt werden, was auch die adsorbierten Tierarzneimittel in die Oberflächengewässer tragen könnte. Andere

Tierarzneimittel wie Sulfonamide hingegen sind sehr mobil (Kemper 2008, Kodesova et al. 2015). Die beschriebene Maßnahme ist für diese Substanzen daher nicht wirksam.

Nach dem Ablauf der Sperrfrist werden die Güllelager entleert, um Kapazitäten für neuankommende Gülle zu schaffen. Bei einer Verlängerung der Sperrfristen wird dementsprechend mehr Wirtschaftsdünger auf die Flächen verbracht, welches je nach Standort und Witterung zu einem vermehrten Eintrag von Tierarzneimitteln in Oberflächengewässer führen kann.

7.5 Maßnahme: Einführung bundeseinheitlicher Vorgaben für das Fassungsvermögen von Anlagen zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Der Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (Stand 22.6.2015, BMEL, 2015b) sieht auch weiterhin eine Mindestlagerkapazität von sechs Monaten vor. Durch die geplante Verlängerung der Sperrfristen (siehe Maßnahme 7.4), wird in einigen Betrieben mehr Wirtschaftsdünger gelagert werden müssen als bisher. Daher werden Betriebe mit geringen oder ohne eigene Flächen zur Ausbringung ab dem Jahr 2020 Lagerkapazitäten für flüssigen Dung von neun Monaten nachweisen müssen. Alle Betriebe müssen ab 2020 Lager für den anfallenden festen Wirtschaftsdünger von drei Monaten vorweisen können.

Die Maßnahme wird für die landwirtschaftlichen Betriebe mit erheblichen Kosten verbunden sein und werden auf 5,00 €/pro m³ für die Lagerung flüssiger Wirtschaftsdünger, und 7,20 €/pro m² Festmist geschätzt (BMEL, 2015b: 72).

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt:

Durch die verlängerten Sperrfristen (Maßnahme 7.4) und erhöhte Vorgaben von Mindestlagerkapazitäten kann es für eine Teilmenge des anfallenden betrieblichen Wirtschaftsdüngers zur verlängerten Lagerung kommen. Während der Lagerung wurde der Abbau der beinhalteten Tierarzneimittel in mehreren Studien nachgewiesen (u.a. Massé et al. 2014). Die einflussreichsten Faktoren für den Tierarzneimittelabbau sind dabei die Temperatur und die Lagerungsdauer (siehe Maßnahme 5.2).

Allerdings ist der Abbau der Tierarzneimittel stark wirkstoffspezifisch. Bei Lagerung von Festmist (Schweinetrockenkot) wird z.B. das Antibiotikum Sulfadiazin kaum mineralisiert: während sechsmonatiger Lagerung wurden weniger als 1 % des Antibiotikums mineralisiert, 99 % konnten weiterhin nachgewiesen werden (Heuer et al. 2008). Damit ist Sulfadiazin bei dauerhafter Ausbringung durch belasteten Wirtschaftsdünger mit weiteren Umweltrisiken behaftet. In Gülle können die Antibiotikakonzentrationen sehr stabil sein oder sich durch Rückwandlung der Stoffwechselprodukte in ihre Ausgangsstoffe sogar erhöhen (Jechalke et al. 2014), was auch für Sulfadiazin beobachtet wurde. Eine hohe Anzahl an Bakterien in der Gülle enthielt antibiotikaresistente Gene, deren Anzahl sich auch während der Güllelagerung erhöhten (Jechalke et al. 2014).

Insbesondere bei Lagerung von Wirtschaftsdüngern sind die Abbauprodukte der Tierarzneimittel relevant. Für einige abbaubare Substanzen zeigte sich, dass sich die Konzentrationen der Abbauprodukte während der Lagerung erhöhten (Lamshöft et al. 2010). Dies ist in Anbetracht verlängerter Lagerzeiten von Relevanz, da auch die Stoffwechselprodukte biologisch aktiv sein können und ihr Einfluss unterschätzt werden könnte.

Um den Abbau von Tierarzneimitteln in gelagerter Gülle weiter voranzubringen, kann diese mit frischer Gülle vermengt werden. Vermutlich bewirkt die erhöhte biologische Aktivität in frischer Gülle den weiteren Abbauprozess (Lamshöft et al. 2010).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Studien von Lamshöft et al. (2010) und Heuer et al. (2008) sind Laborexperimente, die jeweils ein Antibiotikum auf ihr Abbauverhalten testeten und daher nur bedingt aussagekräftig für Feldbedingungen sind. Beide Studien betrachten auch Stoffwechselprodukte von Tierarzneimitteln, was eher seltener in der Literatur abgedeckt wird.

7.6 Maßnahme: Präzisierung der Beschränkungen für das Aufbringen von Düngemitteln

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Im Entwurf der Novelle der Düngeverordnung (Stand 22.6.2015, BMEL, 2015b) werden auch die Vorgaben präzisiert, die für die Aufbringung von nitrat- und phosphathaltigen Düngemitteln auf überschwemmten, wassergesättigten, gefrorenen oder schneebedeckten Böden bereits bestehen. Absolute Düngeverbote werden wie folgt erweitert:

- ▶ bei Schneebedeckung von mehr als 1/3 des Schlages (vorher „wenn mehr als 5 cm Schnee liegen“),
- ▶ auf einem Gewässerrandstreifen von 4 m (vorher 3 m) in Abhängigkeit der Ausbringtechnik (bei Exaktausbringungstechnik gilt weiterhin 1 m),
- ▶ auf einem Gewässerrandstreifen von 5 m bei Hangneigung von mehr als 10 % (vorher 4 m).

Auf gefrorenen Böden gilt eine beschränkte Aufbringung von 60 kg Stickstoff dann, wenn nachts oberflächlich gefrorene Böden tagsüber aufnahmefähig sind, der Boden pflanzenbedeckt ist und keine Abschwemmungsgefahr besteht, die Fläche also keine Hangneigung aufweist. Dabei muss gezeigt werden, dass das Aufbringen zu einem späteren Zeitpunkt Bodenverdichtungen nach sich ziehen würde.

Außerdem wird die Vorsorgepflicht zur Vermeidung der Abschwemmung von Düngemitteln dahingehend verschärft, dass nun auch benachbarte Flächen in die Betrachtung einbezogen werden müssen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Konkretisierungen durch die Novellierung der Düngeverordnung (Stand 22.6.2015, BMEL, 2015b) zielen unter anderem darauf hin, dass Abschwemmungen von Wirtschaftsdüngern nicht in Oberflächengewässern gelangen. Bei schneebedeckten oder gefrorenen Böden ist die Infiltration des Wirtschaftsdüngers in den Boden verringert. Daher würde der Wirtschaftsdünger samt beinhaltenen Tierarzneimitteln hier auf der Oberfläche verbleiben, wo er durch die geringe Pflanzenbedeckung im Winter leichter abgeschwemmt werden kann. Die Regelungen des Düngeverbots auf Gewässerrandstreifen und breiterer Gewässerrandstreifen bei stark geneigten Flächen (da bei höherer Neigung der Oberflächenabfluss größere Geschwindigkeit annehmen kann) verfolgt ebenso diese Absicht. Damit wird ein direkter Nutzen für die Reduktion des Eintrags von Tierarzneimitteln in Oberflächengewässer erbracht.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Insbesondere bei kalten Temperaturen konnte für mehrere Substanzen nachgewiesen werden, dass sie sich im Boden persistent verhalten (Song et al., 2010).

7.7 Maßnahme: Bodenverdichtung vermeiden

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Um Bodenverdichtung zu verringern, sind mehrere Möglichkeiten denkbar, die zum einen die Maschinerie und zum anderen das Bodenmanagement betreffen. Generell sollte die Bodenbearbeitung an die Standortbedingungen angepasst erfolgen und hier vor allem die Faktoren Wassergehalt des Bodens und Bodenart berücksichtigen, da diese die wichtigsten Aspekte für die Bodenverdichtung sind. Ein toniger Boden kann bei einer leichten Durchfeuchtung, wenn er noch keine Klumpen bildet, am besten bearbeitet werden (Müller & Schindler, 1999).

Ist bereits eine Verdichtung der oberen Bodenschichten z.B. in Fahrspuren aufgetreten, kann z.B. ein flaches Pflügen der verdichteten Bereiche diese beheben. Allerdings kann Befahren des Bodens nicht komplett vermieden werden. Die folgenden Anpassungsoptionen können die Belastung des Bodens durch Befahren verringern (u.a. Frelih-Larsen et al., 2014):

- ▶ Häufigkeit der Befahrung verringern, z.B. durch das Zusammenlegen verschiedener Arbeitsschritte oder den Einsatz von Precision Farming mit Einsatz von GPS,
- ▶ Arbeitsbreite erhöhen,
- ▶ Schlaggröße und die Richtung der Schlagbearbeitung für die Verringerung der befahrenen Fläche anpassen. Dabei können Fahrspuren auch dauerhaft genutzt werden, um die anderen Bereiche des Bodens nicht zu stören.
- ▶ Geringer Reifendruck und breiter Reifentyp (Zwillingsreifen).

Unterbodenverdichtung entsteht vor allem durch die zu große Last auf dem Boden durch schwere Maschinerie. Daher sollte diese der Belastbarkeit des Bodens entsprechen. Insbesondere beim Aufbringen oder Abtragen von Material sollte ebenso die Last der Ladung berücksichtigt werden.

Um weiterhin Bodenverdichtung zu verringern, sollte die Bodenbearbeitung auf ein Mindestmaß reduziert werden. Für geeignete Böden mit nicht zu hohem Tongehalt ist auch Direktsaat eine Möglichkeit. Pfluglose Bodenlockerung oder moderne Pflugtechniken (on-land-Pflug) sollten generell dem klassischen Pflug vorgezogen werden. Die Bodenstruktur kann auch durch Pflanzen mit guter Durchwurzelung verbessert werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Durch die Verringerung der Bodenverdichtung wird zum einen der Anteil des Oberflächenabflusses bei Abflussereignissen reduziert. Hierdurch wird der Abtransport im Oberflächenabfluss von löslichen Tierarzneimitteln, die Abschwemmung von Bodenpartikeln (mit gegebenenfalls adsorbierten Tierarzneimitteln) oder und die Abschwemmung fester Wirtschaftsdüngerbestandteilen mit gegebenenfalls angelagerten Tierarzneimitteln verringert (Kay et al. 2005). Dadurch kann der Eintrag von Tierarzneimitteln in die Vorfluter reduziert werden.

Durch die Verbesserung der Bodenstruktur wird die biologische Aktivität im Boden erhöht. Dadurch ist auch der Abbau von Tierarzneimitteln im Boden begünstigt (Unger et al. 2013).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Verringerung der Bodenverdichtung ist keine Maßnahme, die speziell auf die Verringerung von Tierarzneimitteln in der Umwelt wirkt. Sie kann sich auf den Eintrag und den Abbau der Substanzen positiv auswirken. Allerdings kann die Wirkung aufgrund von mangelnder wissenschaftlicher Untersuchung des Verbleibs und Abbaus der Substanzen unter verschiedenen Umweltbedingungen und Managementvarianten nicht abgeschätzt werden.

Durch die Bodeninfiltration, die diese Maßnahme steigert, könnte es darüber hinaus zu einer Verlagerung von wasserlöslichen Tierarzneimitteln oder deren Abbauprodukten ins Grundwasser kommen.

Die im Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung festgesetzten Verschärfungen (siehe 7.3, 7.4) könnten sich negativ auf den Zustand der Bodenverdichtung auswirken.

7.8 Maßnahme: Humusgehalt erhöhen und biologische Aktivität fördern

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Nicht standortangepasste, ordnungsgemäße landwirtschaftliche Bodenbearbeitung kann zu einer Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes im Boden und damit zum Rückgang der Bodenfruchtbarkeit, des Wasserhaltevermögens und der biologischen Aktivität führen (Frelih-Larsen et al., 2014). Damit diese Bodenfunktionen erhalten bleiben, sollte ein nachhaltiges Humusmanagement betrieben werden. Dieses kann folgende Aspekte umfassen (Frelih-Larsen et al., 2014):

- ▶ Management von Ernterückständen: Bei der Ernte sollte der Teil der Pflanze, der nicht zur Weiterverarbeitung benötigt wird, auf der Fläche verbleiben. Die Pflanzenreste können so biologisch zersetzt werden und dem Boden als Humus erhalten bleiben.
- ▶ Verringerung der (wendenden) Bodenbearbeitung (Mulchsaat) oder Verzicht auf Bodenbearbeitung (Direktsaat): Je weniger der Boden bearbeitet wird und damit belüftet wird, desto weniger wird die organische Substanz des Bodens abgebaut. Daher sind pfluglose Bodenlockerung und Direktsaat für den Humuserhalt gute Möglichkeiten.
- ▶ Einbindung von mehrjährigen Kulturen in die Fruchtfolge: Insbesondere unter Gräsern akkumuliert der Boden eine verhältnismäßig große Menge an organischer Substanz. Wird eine Grünbrache in die Fruchtfolge eingebunden, kann der Humusgehalt nachhaltig erhöht werden.
- ▶ Deckfrüchte oder Zwischenfrüchte: Der Anbau von Zwischenfrüchten oder Untersaaten zur anschließenden Einarbeitung ist weit verbreitet. Durch diese Maßnahme wird der Humusgehalt des Bodens erhöht. Auch die enzymatische Aktivität der Wurzeln ist dem Abbau von Tierarzneimitteln förderlich (Lin et al., 2010). Ein positiver Nebeneffekt besteht hierbei für die Verringerung der Bodenerosion, da Schwarzbrache und exponierter Boden vermieden werden. Bei Leguminosenanbau wird neben dem Humusgehalt auch der Stickstoffgehalt des Bodens erhöht und muss beim Nährstoffmanagement einberechnet werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Nachhaltiges Humusmanagement und die damit einhergehende Erhaltung bzw. Erhöhung der organischen Substanz im Boden verbessern die Rückhaltekapazität für Nährstoffe und Wasser. Da einige Tierarzneimittel bevorzugt an organische Substanz adsorbieren (u.a. Tolls 2001, siehe auch Kapitel 5), wird mit der Steigerung der organischen Bodensubstanz auch der Rückhalt von Tierarzneimitteln im Boden erhöht. Da einige Tierarzneimittel an die feste Bodenphase adsorbieren, kann angenommen werden, dass durch die Maßnahme die Auswaschung von Tierarzneimitteln ins Grundwasser verringert wird. Durch die Humusanreicherung ist die biologische Aktivität erhöht,

welche zu einem vermehrten Abbau von Tierarzneimitteln im Boden führen kann (Unger et al. 2013). Ernterückstände auf landwirtschaftlichen Flächen verringern ebenso Geschwindigkeit und Volumina von Oberflächenabfluss, was zu einem verminderten Abtransport von Tierarzneimitteln führen kann, und bieten zusätzliche Adsorptionsflächen für diese Stoffe.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die beschriebenen Managementmaßnahmen sind bisher nicht für die Wirkung auf Tierarzneimittel untersucht worden. Ebenso wenig kann daher abgeschätzt werden, wie sich eine Akkumulation von im Boden adsorbierten Tierarzneimitteln auf die Pflanzenproduktion oder die mikrobielle Aktivität auswirkt. Dabei sollte auch bedacht werden, dass Pflanzen auch Tierarzneimittel aufnehmen können, und diese damit in die Nahrungskette gelangen können.

Werden durch die Novellierung der Düngeverordnung insbesondere Erntereste als Nährstoffquelle in die Bilanzierung mit aufgenommen, besteht das Risiko, dass künftig vermehrt Material von den Feldern abtransportiert wird. Es bestehen darüber hinaus ökonomische Anreize, Stroh abzufahren und für den Humuserhalt Wirtschaftsdünger zu verwenden. Insbesondere bei sich verändernden Besitz- bzw. Pachtverhältnissen sind Maßnahmen zum Humuserhalt und Erosionsschutz, welche häufig mit langfristigen Management und Investitionen verbunden sind, für die Landwirte ökonomisch nicht lohnend und daher ihre Umsetzung nicht optimal.

7.9 Maßnahme: Erosionsschutz

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Heutige Ackerböden sind das Produkt einer Jahrtausende andauernden Pedogenese. Ihre Hauptfunktionen basieren auf den Abläufen in den oberen Zentimetern. Diese müssen vor Erosion durch Wind und Wasser geschützt werden. Die folgenden praktischen Maßnahmen können hierfür umgesetzt werden (Frelih-Larsen et al., 2014):

- ▶ **Management von Ernterückständen:** Werden Ernterückstände auf dem Schlag belassen, können Wurzeln dem Boden Stabilität geben. Ein langfristig nachhaltiges Management von Ernterückständen oder auch die Einarbeitung organischer Substanz erhöht den Humusgehalt des Bodens und verbessert so die Bodenstruktur, welche folglich weniger anfällig für Verdichtung und Bodenabtrag ist. Ernterückstände bilden auch eine mechanische Barriere, die Geschwindigkeit und Volumina von Oberflächenabfluss verringert und somit Erosion reduziert.
- ▶ **Fruchtfolge mit mehrjährigen Kulturen oder Deck- und Zwischenfruchtanbau:** Durch die dauerhafte Bedeckung des Bodens durch Pflanzen können Bodenpartikel weniger gut durch Wind oder Wasser abgetragen werden. Die Dichte der Pflanzendecke ist hierbei entscheidend. Die biogene Aktivität der Wurzeln verstärkt gleichzeitig den Abbau von Tierarzneimitteln (Lin et al. 2010).
- ▶ **Gewässerrandstreifen:** Die Anlage von Dauergrünland oder anderen Kulturen zwischen Acker und Vorfluter fängt das erodierte Material des Ackers auf (siehe Kapitel 6.3). Die Erosion auf dem Acker wird dadurch allerdings nicht verringert.
- ▶ **Angepasste Bodenbearbeitungsmaßnahmen:** Direktsaat oder verringerte Bodenbearbeitung verhindert, dass die Rhizosphäre der vorangegangenen Kultur seine bodenstützende Struktur verliert und verhindert somit Bodenabtrag. Bei Hangneigung sollte die Bodenbearbeitung parallel zu den Höhenlinien geschehen, damit die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses und damit der Fähigkeit des Abflusses, Boden abzutragen, verringert wird. Fahrzeugspuren zeigten deutlich höhere Abflüsse als andere Teile des Ackers, welches sich auf die Menge der abgeschwemmten Tierarzneimittel fortsetzte (Kay et al. 2005). Durch geringere Befahrung kann Erosion in

Fahrzeugspuren verringert werden. Allerdings können die damit verbundenen größeren Arbeitsbreiten zu höheren Maschinenlasten führen und sind mit zusätzlichen Maßnahmen zur Verminderung des Verdichtungsrisikos zu verbinden, z.B. Reifendruckregelung, Hundegang, Raupenfahrwerk etc.

- ▶ **Windschutz:** Durch Hecken oder Baumreihen zwischen den Äckern kann die Windgeschwindigkeit und damit die Abtragsleistung des Windes verringert werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Durch die Managementmaßnahmen kann ein Bodenabtrag und ein nachfolgender Eintrag von Boden in Gewässer verringert werden. Damit wird auch der Eintrag von adsorbierten Tierarzneimitteln verringert.

Da viele der genannten Maßnahmen auch positive Effekte auf den Humusgehalt haben, kann eine Akkumulierung stattfinden. Da darüber hinaus auch Bodenstruktur und damit auch die biologische Aktivität verbessert werden, kann somit der Abbau der Tierarzneimittel im Boden angenommen werden (Unger et al. 2013).

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Das Minderungspotenzial des Eintrags von Tierarzneimittel in Oberflächengewässer wird als gering eingeschätzt. Größere Effekte können durch die anderen dargestellten Maßnahmen, insbesondere der Düngung erzielt werden (Kapitel 7.2 – 7.4). Die Wechselwirkung der genannten Maßnahmen (Kapitel 7.2 – 7.8) im Handlungsfeld ist groß.

7.10 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

Wie bereits in Kapitel 7.1 erläutert ist die gute fachliche Praxis der Bodenbearbeitung derzeit zwar im Bundes-Bodenschutzgesetz und Bundesnaturschutzgesetz rechtlich verankert, aber das Missachten ihrer Regeln wird derzeit kaum geahndet. Teilaspekte der guten fachlichen Praxis sind auch Bestandteil der Cross Compliance Regelung, wobei ein Verstoß gegen diese mit Kürzung der Agrarzahlungen geahndet wird (siehe Kapitel 10.4.1). Bevor jedoch gefordert wird, die im Bundes-Bodenschutzgesetz dargelegten Regeln durch eine Klausel zum Vollzug zu ergänzen, müssen die Anforderungen spezifiziert werden.

Insbesondere ist hier der Bezug zu den Standortbedingungen zu nennen. In den Formulierungen zur witterungsangepassten Bearbeitung, zur Vermeidung von Bodenverdichtung und -erosion sowie zur Erhaltung des Humusgehalts wird auf die Standortabhängigkeit verwiesen. Um eine umsetzungsfähige Regelung zu formulieren, müssten demnach zunächst die natürlichen Bedingungen sowie die Nutzung aller Acker- und Grünlandstandorte Deutschlands aufgenommen und zentral hinterlegt sein. Auf einer solchen Einschätzung könnte folglich ein Nichteinhalten der Anforderungen basiert werden.

In Bezug auf standortspezifische Informationen nennt die Bund/Länder-Arbeitsgruppe Bodenschutz insbesondere Bodenfeuchte zum aktuellen Zeitpunkt und zum Jahresgang (zur Bestimmung der Winderosion, Tragfähigkeit), Niederschlag und Windgeschwindigkeit (zur Bestimmung der Winderosion), die zur Bewertung der guten fachlichen Praxis benötigt würden (LABO 2014). Aufgrund der derzeit mangelnden standortgenauen Informationen können die Methoden zur Bewertung der aufgeführten Komponenten der guten fachlichen Praxis nicht angewandt werden.

Zur Beurteilung des Status quo fehlt es derzeit auch an praxisrelevanten Verfahren zur Bestimmung des Humusgehalts, der Verdichtungssituation, sowie des Risikos für Wind- und Wassererosion (LABO

2014, Böken 2002). Ebenso ist kein praxistauglicher bundeseinheitlicher Leitfaden für die Bearbeitung organischer Böden vorhanden.

Die Umsetzung guter fachlicher Praxis bedarf guter Kenntnisse der Standortgegebenheiten jeden Schlags und angepasster Managementpraktiken. Daher wird empfohlen, diese Kenntnisse in den landwirtschaftlichen Beratungen zu vermitteln (Böken 2002, LABO 2014). Beratungen sind demnach der erste Schritt zur Umsetzung der guten fachlichen Praxis und der damit involvierten Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt.

In Bezug auf die Anwendung von Düngemitteln, welche laut Bundesnaturschutzgesetz nach Maßgabe des landwirtschaftlichen Fachrechtes, des Düngegesetzes und der Düngeverordnung, erfolgen soll, gibt es Handlungspotenzial in Bezug auf die diskutierte Novelle der Düngeverordnung. Auch für die Düngung gilt, dass Verstöße gegen die Düngeverordnung, welche als Ordnungswidrigkeit geahndet werden, nur dann abschreckend wirken, wenn sie kontrolliert werden. Auch wenn der Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (Stand 22.6.2015, BMEL, 2015b) eine Verschärfung der fachgerechten Düngepraxis vorsieht, ist derzeit noch unklar, ob auch vermehrte Kontrollen eingeführt werden). Weiterhin könnte die Strafbewehrung bei Nichteinhalten des Höchstwertes verschärft werden. In den vorgeschlagenen Änderungen ist dieses nicht vorgesehen (vgl. BUND 2015, Osterburg & Techen 2012).

Die im Entwurf novellierten Verschärfungen in der Düngeverordnung (Stand 22.6.2015, BMEL, 2015b) könnten insbesondere in stark nährstoffgesättigten Gebieten mit einer hohen Viehdichte den Eintrag von Tierarzneimitteln weiter reduzieren, wenn striktere Höchstnährstoffüberhänge für Gebiete mit einer hohen P-Versorgung bzw. Gebiete, dessen Grundwasser den guten chemischen Zustand aufgrund von Nitrat nicht erreicht (rote Gebiete), eingeführt würden (vgl. DWA 2015, BUND 2015). (Dies unter der Annahme, dass sich die verminderte Ausbringung von Nährstoffen im Wirtschaftsdünger vergleichbar ist mit der verminderten Ausbringung von Tierarzneimitteln im Wirtschaftsdünger.) Außerdem könnten insbesondere für rote Gebiete verstärkt obligatorische Maßnahmen eingeführt werden, um den Nährstoffaustrag und damit auch den Tierarzneimittelleintrag in die Umwelt zu verringern. Auch ökonomische Anreize z.B. durch die Aufnahme von Maßnahmen in die Kataloge der Agrarumweltmaßnahmen der Länder können zu einer effektiveren Reduktion beitragen.

8 Vorsorge durch Kommunikation

Rodrigo Vidaurre

Ecologic Institut

Julia Steinhoff-Wagner, Susanne Lehnert, Brigitte Petersen,

mit Unterstützung von Julia Rams und Franziska T. Bögel

Focus Gruppe One-Health,

FoodNetCenter der Universität Bonn

Maßnahmenüberblick:

8.2	Maßnahme: Umweltaspekte in die Ausbildung integrieren	146
8.3	Maßnahme: Erweiterung des Weiterbildungsangebots für Tierhalter und Tierärzte	147
8.4	Maßnahme: Informationskampagnen zu risikomindernden Praktiken für Tierärzte und Landwirte	148
8.5	Maßnahme: Wissenstransfer zu alternativer Entwurmung und Anpassung der geltenden Empfehlungen	149
8.6	Maßnahme: Informationskampagnen für Phytotherapeutika und Futtermittelzusatzstoffe.	150
8.7	Maßnahme: Informationskampagnen für die breitere Öffentlichkeit zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt	151

8.1 Problemstellung

Wissen um die Bedeutung einer Umweltproblematik, um die Prozesse, die in ihrer Entstehung maßgeblich sind und um die möglichen Umweltschutzmaßnahmen sind entscheidend, um zu einer guten Maßnahmenumsetzung zu gelangen. Erstens ist fachliches Wissen der Schlüssel zu einer kompetenten Umsetzung von Maßnahmen seitens relevanter Akteure. Zweitens ist Wissen der Umweltproblematik auch ein Schlüssel zur Einsicht in die Notwendigkeit von Umweltschutzmaßnahmen, die im Vergleich mit herkömmlichen Praktiken des Öfteren einen zusätzlichen Aufwand – sei es in der Umsetzung an sich, sei es in Form veränderter Berichterstattungspflichten – bedeuten können. Insbesondere im Fall von Maßnahmen, die nur schwer bzw. selten kontrolliert werden können, ist die Förderung von Verständnis und damit auch der Akzeptanz seitens der umsetzenden Akteure entscheidend. Drittens ist auch ein Bewusstsein der Problematik in der breiten Öffentlichkeit ein wichtiges Mittel, um sowohl politischen Handlungsdruck wie auch Anreizsysteme innerhalb der freien Marktwirtschaft für umweltfreundlichere Praktiken zu schaffen.

Dabei kommt nicht nur der Ausbildung angehender Tierärzte und Landwirte oder ihrer Fortbildung eine große Bedeutung zu. Beratungsprogramme mit Anschauungsobjekten oder Simulationsprogrammen (z.B. für Landwirte) haben sich für andere Stoffgruppen (z.B. Pflanzenschutzmittel; Reichenberger et al., 2007) als gut geeignetes Mittel erwiesen, die Akzeptanz von Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu fördern. Durch maßgeschneiderte Informationskampagnen kann Wissen zu wissenschaftlichen Zusammenhängen und Handlungsoptionen sowohl Akteuren wie auch der breiten Öffentlichkeit vermittelt werden.

Laut der Deutschen Antibiotika-Resistenzstrategie gilt das Thema „Antibiotika-Resistenzen“ als in der Hochschulausbildung bereits verankert. Diese Verankerung und zusätzlich die Einbeziehung von Umweltaspekten in die akademische Ausbildung wurden im Rahmen dieses Projektes evaluiert. In einer umfangreichen Recherche sind Prüfungsordnungen und Modulbeschreibungen von elf Universitäten (Berlin, Bonn, Gießen, Göttingen, Halle-Wittenberg, Hannover, Hohenheim, Kassel, Kiel, Leipzig, München und Rostock) und neun Fachhochschulen (Bingen, Dresden, Eberswalde, Kiel, Neubrandenburg, Nürtingen, Osnabrück, Südwestfalen und Weihenstephan) ausgewertet worden. Die Analyse bezieht sich auf Lehrangebote an veterinärmedizinischen oder landwirtschaftlichen Fakultäten deutscher Universitäten oder an landwirtschaftlichen Fachhochschulen. Auch ernährungswissenschaftliche Studiengänge wurden in die Recherche miteinbezogen, da es gerade im Bereich der Zoonosen- und Resistenzübertragung im Hinblick auf die Produktsicherheit einen großen Überschneidungsbereich zwischen Agrar- und Ernährungswissenschaften gibt.

Nach Auswertung der Recherchen wurden nur in wenigen (0-60 %) Modulbeschreibungen die Schlagworte Zoonose, Resistenz und Antibiotika erwähnt. Das zeigt, dass von einer bestehenden Verankerung des Themas Antibiotika-Resistenzen in der Hochschulausbildung derzeit nicht gesprochen werden kann. Alle Inhalte, die nicht in der Modulbeschreibung bzw. in der Prüfungsordnung festgeschrieben sind, liegen frei im Ermessen der Dozenten. Speziell in einigen tiermedizinischen Studiengängen umfasst die verfügbare Information zu den Modulen bzw. Veranstaltungen nur deren Titel, wohingegen in den Agrar- und Ernährungswissenschaften eine detaillierte Beschreibung der Lerninhalte und Lernziele gängige Praxis ist. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass in der Realität die oben genannten Inhalte in deutlich mehr Studiengängen thematisiert werden, aber letztendlich sichergestellt wäre das nur über eine entsprechende Erwähnung in den Studienordnungen.

Im Hinblick auf die Umwelteinträge von Tierarzneimitteln konnten aufgrund der Datenlage nur die agrar- und ernährungswissenschaftlichen Studiengänge (n = 115) herangezogen werden. Bei der großen Anzahl Module (n > 5000) beinhalten nur sehr wenige Studiengänge (< 6 %) ein oder (noch

seltener) mehrere Module, in denen ihrer Beschreibung nach die Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt behandelt werden. Die Schlagworte ‚Schmerzmittel‘ bzw. ‚Sedativa‘ (und ihre gängigen Synonyme) lieferten keinen Treffer. Die entsprechenden Module, die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt thematisieren, sind in Tabelle 7 aufgeführt. Innerhalb dieser Module ist nur ein einziges verpflichtend für Nutztierwissenschaftler.

Tabelle 7: Module in den agrar- und ernährungswissenschaftlichen Studiengängen, die laut Prüfungsordnung bzw. Modulbeschreibung Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt thematisieren.

Studienort/ Modulbezeichnung	Darstellung von Tierarzneimittel- Umwelt-Beziehungen			
	Arzneimittel	Antibiotika	Parasit [#]	Hormon [#]
Bonn				
Schadstoffe in Böden und ihre Risikoabschätzung (Soil Pollution and Risk Analysis) [MSc]		x		x
Trink-, Brauch- und Abwasser [MSc]	x	x		x
Stoffliche Belastungen von Ökosystemen - Einträge, Schadstoffverhalten, Risiken [MSc]		x		x
Präventives Gesundheitsmanagement	x	x		
Göttingen				
Tropical Animal Health I			x	
Ökotoxikologie und Umweltanalytik [MSc]		x		
Rostock				
Tiergesundheit und Wohlbefinden [MSc]*	x			
Kassel				
Epidemiologie von internationalen und tropische Infektionskrankheiten bei Tieren (Epidemiology of international and tropical animal infectious diseases) [MSc]			x	
Halle-Wittenberg				
Praktischer Pflanzenschutz und Pflanzenschutzmittel [BSc]			x	
FH Nürtingen				
Pflanzen- und Tiergesundheit [BSc]	x			

MSc: Masterstudiengang; BSc: Bachelorstudiengang

* Einziges Pflichtmodul im Masterstudiengang Tierwissenschaften

Die Schlagwortsuche nach dem Wortstamm garantiert die Einbeziehung von z.B. Antiparasitika und Parasiten (bei dem Schlagwort „Parasit“), sowie z.B. Sexualhormone (bei „Hormon“).

Die Anzahl von Symposien und Fortbildungsveranstaltungen zum Thema Antibiotikaresistenzen ist in den letzten 3 Jahren stark angestiegen, wobei auch der Zusammenhang mit Umwelteinträgen zunehmend mehr Beachtung findet.

Die unten dargelegten Maßnahmen decken verschiedene Möglichkeiten ab, fachliches Wissen bzw. generellere Hintergrund- und Handlungsinformationen zu vermitteln.

8.2 Maßnahme: Umweltaspekte in die Ausbildung integrieren

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Um auf die Inhalte bereits akkreditierter Studiengänge Einfluss zu nehmen, müssen Wege gefunden werden, die Gruppe der Lehrenden besonders anzusprechen. Die Freiheit von Forschung, Lehre und Studium ist in der deutschen Verfassung (GG, Art. 5, Abs. 3) verankert. Hochschullehrer können die Inhalte ihrer Veranstaltungen frei gestalten. Deswegen werden in der Regel Änderungen zu ihrer Modulbeschreibung nur von den Modulverantwortlichen selbst beantragt. Diese werden dann durch mehrere Gremien genehmigt. In Ausnahmefällen können auch Änderungen von dem Dekan, Studiendekan oder aus der Gruppe der Studierenden angeregt werden.

Ziel sollte es daher sein, die Modulverantwortlichen über ihre wissenschaftlichen Gesellschaften und ihre Fachverbände zum aktuellen Wissensstand zu informieren. Das könnte z.B. über einen Brief mit beigefügtem Infomaterial geschehen. Auch ließen sich bei fehlenden Lehrangeboten Ringveranstaltungen von wissenschaftlichen Gesellschaften für jeweils bestimmte Themenbereiche in Blockveranstaltungen organisieren, die von Gastdozenten übernommen werden. oder die Bereitstellung von fertigen Powerpoint-Folien oder Online-Lehrangeboten für die Nutzung in allen Ausbildungsgängen. Diese müssen natürlich entsprechend verbreitet und beworben werden. Über die Integration von z.B. den Sachkundenachweisen in das Studium kann eine Nachfrage für bestimmte Lerninhalte geschaffen werden. Diese wird meistens von Seiten der Studierenden über die Fachschaften angeregt und dann entsprechend von den Dozenten umgesetzt.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Absolventen der Tiermedizin und der Agrarwissenschaften dienen als Multiplikatoren in dem gesamten Sektor der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft, sowie darüberhinausgehenden Heim- und Hobbytierhaltungen. Eine Wissensvermittlung von Tierarzneimitteln und ihren eventuell umweltrelevanten Wirkungen im Studium würde nicht nur das eigene Verständnis, Problem- und Verantwortungsbewusstsein der Studierenden beeinflussen, sondern über die Absolventen auch in andere Gruppen hineingetragen werden. Das gilt auch für die Ausbildung an landwirtschaftlichen Berufsschulen, deren Lehrpersonal sich wiederum hauptsächlich aus Agrarwissenschaftlern zusammensetzt. Eine tatsächliche Verankerung in die Studienpläne ist von daher also von sehr hoher Priorität, um dem Ziel einen geringeren Gebrauch umweltkritischer Tierarzneimittel näher zu kommen und Einsichten über das eigene verantwortungsbewusste Handeln zu erzeugen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Bzgl. der Einflussnahme auf die Prüfungsordnungen und Modulhalte hängt die Umsetzung entscheidend von der Bereitschaft der Modulverantwortlichen bzw. Dozenten ab, Empfehlungen umzusetzen.

8.3 Maßnahme: Erweiterung des Weiterbildungsangebots für Tierhalter und Tierärzte

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Durch den kontinuierlichen Anstieg antimikrobiell resistenter Erreger wird die Behandlung bakterieller Infektionen bei Mensch und Tier zunehmend erschwert, weil die Arzneimittel nicht mehr wie bisher wirken. Diese Einsicht eines zukünftig sich verschärfenden Problems hat zu einem Paradigmenwechsel bei der Betrachtung dieser Problematik geführt und fördert eine Betrachtung unter One-Health Gesichtspunkten, die sich zunehmend verbreitet. Der One-Health Ansatz beinhaltet eine interdisziplinäre Gesamtbetrachtung von Mensch, Tier, Wasser, Luft, Boden, Lebensmitteln und Handel und ist derzeit sowohl von der methodischen Herangehensweise als auch der Didaktik in den Anfängen. Gleichzeitig ist die Kompetenzvermittlung zur Lösung sehr komplexer Probleme, wie die Resistenzentwicklung und Resistenzverbreitung, noch nicht genügend in der Ausbildung von Agrarwissenschaftlern, Human- und Veterinärmedizinern verankert. Das führt dazu, dass den derzeit tätigen Personen häufig noch das Wissen zu umweltrelevanten Wirkungen in Folge des Antibiotikaeinsatzes fehlt und damit die Einsicht, ihr Verhalten im Umgang mit Tierarzneimitteln zu überdenken und zu verändern.

Die Entwicklung von einem für alle Disziplinen übergreifenden Fortbildungsangebot ist entscheidend, um aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse über Umweltproblematiken in die Praxis zu transferieren und gleichzeitig Lücken in der fachspezifischen Ausbildung zu schließen. Um alle Zielgruppen wirkungsvoll zu erreichen, sollte das erforderliche Wissen im Rahmen eines Lebenslanges-Lernen-Konzeptes von der Grundausbildung bis zur ergänzenden Weiterbildung erfolgen. Ein Beispiel hierfür ist das Leistungsangebot der Europäischen Qualifizierungs Allianz das entsprechende Themenbereiche aufgreift und z.B. Weiterbildungsveranstaltungen zum Thema One-Health anbietet.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Aufklärung aller beteiligten Personen über die Risiken eines unreflektierten Antibiotika- bzw. Tierarzneimitelesatzes und durch Aufzeigen von Alternativen, die Tierbestände gesund und leistungsfähig zu halten, erhöht die Chance, ein Verständnis und Verantwortungsbewusstsein dafür zu entwickeln. Beides sind Voraussetzungen in den Berufsgruppen der Tierärzte und Tierproduzenten, sowie Tierhaltern allgemein, sich einen geringeren Gebrauch umweltkritischer Tierarzneimittel zum Ziel zu setzen und Einsichten über das eigene verantwortungsbewusste Handeln zu erlangen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Entsprechende Aus- und Weiterbildungsangebote sind bislang noch nicht flächendeckend verfügbar. Derzeit laufen Bedarfsanalysen (Petersen et al., 2016), die ermitteln, welche Inhalte in welcher Form nachgefragt werden, um z.B. umweltschutzrelevante Inhalte nachfrageorientiert aufzubereiten und entsprechende Angebote zu schaffen. Ohne gezielte Fördermaßnahmen wird es kaum gelingen, einen schnellen Wissenstransfer von der Wissenschaft in der Praxis zu realisieren.

8.4 Maßnahme: Informationskampagnen zu risikomindernden Praktiken für Tierärzte und Landwirte

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Über die Erweiterung des Weiterbildungsangebots hinaus (s. vorherige Maßnahme), können Landwirte und Tierärzte durch breitangelegte Informationskampagnen erreicht werden. Kampagnen, die diesen Zielgruppen Informationsmaterialien zu Verfügung stellen wollen, können entweder gleichzeitig oder gesondert zwei Ziele verfolgen (Götz et al., 2011):

1. **Eine Sensibilisierung zum Thema durch das Vermitteln von Hintergrundinformationen leisten.** Die Materialien könnten relevante Informationen vermitteln, wie z.B. die verschiedenen Eintragspfade und ihre relative Bedeutung, die Prozesse und die Auswirkungen auf Resistenzenverbreitung, sowie die Umweltauswirkungen von Tierarzneimitteln. Dies sollte in einer den Zielgruppen gerechten Sprache erfolgen.
2. **Aufklärung zu den Handlungsoptionen leisten.** In diesem Schritt kann den Akteuren einerseits die aus Umweltperspektive bestgeeigneten Handlungsoptionen vermittelt werden („best practice“), andererseits die Umweltfolgen der Handlungsoptionen, die nicht den guten Praktiken entsprechen. Ein Beispiel einer zu kommunizierenden Handlungsoption wäre die fachgerechte Entsorgung von Tierarzneimittelbehältern.

Hier kann auf Wissen und Erfahrung in der Kommunikation zum Thema Humanarzneimitteln in der Umwelt zurückgegriffen werden. Analog zum Prozess der Veränderungskommunikation in Change-Prozessen wird in der Literatur empfohlen, Multiplikatoren (in diesem Falle Tierärzte) zunächst Wissen zu vermitteln und somit Orientierung zu erzeugen. Durch dieses Wissen kann die Akzeptanz des Themas erhöht und Verständnis für die Erwünschtheit der Handlungsoptionen erzeugt werden. Auf dieser Basis einer kommunikativen Vorbereitung können eingeführte Maßnahmen in langfristiges Handeln münden (Götz et al., 2011). Um Tierärzte zu erreichen werden anerkannte Fachmedien, sowohl Print als auch Online, empfohlen. Dabei sollte der Eindruck vermieden werden, dass gewisse Akteursgruppen für die Präsenz von Tierarzneimitteln in der Umwelt verantwortlich gemacht werden.

Es können dabei bedeutende Synergien mit existierenden Kommunikationsinstrumenten (wie z.B. der lokalen Plattform aniplus im Oldenburger Raum) zu Tierarzneimitteln entfaltet werden. In mehreren Europäischen Ländern gibt es knappe Informationsbroschüren zum sorgfältigen Umgang mit Tierarzneimitteln, in denen die zuständigen Behörden oder Tierarztverbände zur richtigen Aufbewahrung, Anwendung und Umgang mit Tierarzneimitteln aufklären. Mit der Aufnahme von (nicht pflichtgebundenen) Umweltbelangen in die Informationsmaterialien zu verpflichtenden Auflagen, z.B. zur sicheren Anwendung von Tierarzneimitteln seitens Landwirte (vgl. UK Health and Safety Executive, 2012)⁸ oder zu den Richtlinien zum sorgfältigen Umgang mit Tierarzneimitteln (vgl. Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte, 2010)⁹ könnte das Thema Tierarzneimittel in der Umwelt im breiteren Kontext der Anwendungsempfehlungen eingebettet werden.

Ein weiterer Themenblock für Informationskampagnen könnte das routinemäßige Trockenstellen mit Antibiotika thematisieren. Über 80 % aller Milchkühe werden antibiotisch trocken gestellt. Diese Praktik entspricht derzeit der üblichen Lehrmeinung. Übersichtsartikel und positive Praxisbeispiele

⁸ <http://www.hse.gov.uk/pubns/as31.pdf>

⁹ http://www.gstsvs.ch/fileadmin/media/TAM/de/TAM-Richtlinien/Sorgfaeltiger_Umgang_mit_TAM.pdf

zu Alternativen könnten die bisherige Praxis vermehrt in Frage stellen und langfristig zum Umdenken führen.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Wirkungsvolle Aufklärungskampagnen können nur gestaltet werden, wenn die Einsparungspotentiale bekannt und die möglichen Eintragspfade für Tierarzneimittel in die Umwelt beschrieben sind. Hier gibt es derzeit noch erhebliche Wissenslücken. Als Beispiel kann die Bedeutung der nicht fachgerechten Entsorgung von unverbrauchten oder abgelaufenen Tierarzneimitteln erwähnt werden (s. Maßnahme 6.9). Hierzu sind keine wissenschaftlichen Studien oder Informationsmaterialien bekannt. Auch wenn durch unsachgemäße Entsorgung von Humanarzneimitteln oder Pflanzenschutzmitteln teils bedeutende Einträge in die Umwelt gelangen, lässt sich dies nicht ohne weiteres auf Tierarzneimittel verallgemeinern.

Für andere Stoffgruppen konnten durch gezielte Informationskampagnen zu den wichtigsten Eintrittspfaden die Mengen an Einträgen in die Umwelt reduziert werden. In Belgien erzielte eine Kommunikationskampagne mit Aufstellung eines Rücknahmesystems für leere Pflanzenschutzmittelbehälter eine Sammelrate von über 90 % (Reichenberger et al., 2007). In einem schwedischen Flusseinzugsgebiet konnten Informationskampagnen für Landwirte zu guten Praktiken im Umgang mit Pflanzenschutzmitteln (mit Vor-Ort-Beratungen und angepasst an den lokalen Bedingungen) die Pflanzenschutzmittelwerte im Gewässer um mehr als 90 % mindern (Kreuger & Nilsson, 2001). Für Pflanzenschutzmittel gelten in der wissenschaftlichen Literatur Informationskampagnen für Landwirte, ggf. in Verbindung mit Training, als sowohl erfolgreiche als auch effektive Minderungsmaßnahmen (Reichenberger et al., 2007).

Durch selektives Trockenstellen würden nur Kühe mit Euterinfektionen antibiotisch behandelt und ansonsten nur Zitzen Versiegler eingesetzt. Diese Strategie könnte einen vor allen mengenmäßigen wichtigen Beitrag zur Reduktion von Antibiotika leisten.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Für andere Lehr- und Aufklärungsinhalte wurde ein Rückgang der erzielten Fortschritte direkt nach Ende der Kommunikationskampagnen für Landwirte festgestellt (Beernaerts et al., 2002, zitiert in Reichenberger, 2007). Dies unterstreicht die Bedeutung einer kontinuierlichen Informationsvermittlung, z.B. durch Aufnahme der Thematik Tierarzneimittel in der Umwelt in Informationsmaterialien zum sicheren Umgang mit Tierarzneimitteln.

Im Bereich des antibiotischen Trockenstellens mangelt es derzeit noch an belastbaren Studien unter Praxisbedingungen, die die Alternativen den konventionellen Methoden gegenüberstellen und speziell die langfristigen Effekte in Bezug auf Eutergesundheit und Resistenzgeschehen belegen. Mit solchen Daten könnte die Akzeptanz bei den Beteiligten für eine Veränderung der derzeitigen Praktiken erreicht und gleichzeitig auch Argumente für eine Veränderung der Lehrmeinung geschaffen werden.

8.5 Maßnahme: Wissenstransfer zu alternativer Entwurmung und Anpassung der geltenden Empfehlungen

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Die frequente strategische Entwurmung mit den von den Herstellern ausgesprochenen Empfehlungen entspricht bislang nicht den aktuellen One-Health Gesichtspunkten. Unter Berücksichtigung der Faktoren für eine schnelle Resistenzentwicklung sollten Präparate dem

jeweiligen Weidemanagement entsprechend angepasst und selektiver eingesetzt werden. Speziell für Pferde, Schafe und andere in Weidehaltung gehaltenen Nutztiere stellt die selektive Entwurmung eine Alternative zu bisherigen Vorgehensweisen dar. Bei der selektiven Entwurmung wird der Wurmbefall erst dann behandelt, wenn Kotuntersuchungen bestätigen, dass die Eiausscheidung einen definierten Schwellenwert (Einheit EpG, Eier pro Gramm Kot) überschreitet. Diese Schwellenwerte müssen nach wissenschaftlichen Kriterien festgelegt werden. Wichtig bei dieser Strategie ist, dass von gleichartig gehaltenen Tieren wiederholt individuell Kotproben genommen werden. Für die Probennahme sollte ein Beprobungsplan empfohlen werden. Diese Kotproben werden im Labor parasitologisch untersucht und liefern ein qualitatives und quantitatives Ergebnis, das einen gezielten Anthelminthikaeinsatz ermöglicht, wenn der Schwellenwert überschritten wird. Neben dem Schwellenwert spielt auch die Beweidungsintensität eine Rolle, denn je nach Besatzungsdichte ändert sich auch der Infektionsdruck. Zum guten Weidemanagement zählen Maßnahmen wie die regelmäßige Entfernung des Kots in der Pferdehaltung, sowie die Mahd und das Ausmähen der Geilstellen. Diese Maßnahmen sollten mit der selektiven Entwurmung kombiniert werden.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Auch im Bereich der Anthelminthika besteht mittlerweile eine Resistenzproblematik. Therapieversagen erhöht deshalb auch hier die eingesetzten Mengen. Deswegen sollten die Empfehlungen hin zu von Monitoringverfahren begleiteten selektiven Entwurmungen gehen. Diese Kombination verlangsamt in Verbindung mit einem angepassten Weidemanagement nicht nur die Resistenzentwicklung, sondern reduziert auch den Einsatz von Anthelminthika. Auf diese Weise lassen sich mögliche Einträge von Wirkstoffen über den Kot ins Grundwasser und die Umwelt verringern. Das Grundprinzip einer solchen Vorgehensweise lässt sich auch auf Entwurmungskonzepte bei weiteren Tieren in Weidehaltung wie Rindern, Schafen, Ziegen und Damwild übertragen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Aus mehreren Umfragen unter Pferdebesitzern ergab sich, dass ohne vorherige diagnostische Abklärung weiterhin frequent „strategisch“ behandelt wurde. Hier ist durch entsprechenden Wissenschaftstransfer und Schulung eine Motivation zur Systemumstellung unbedingt erforderlich. Desweiteren sind die derzeitigen Kosten für eine selektive Entwurmung (speziell Laboranalyse) deutlich höher als für eine frequente strategische Entwurmung. Eine Verschiebung hin zu mehr Analysen würde die Preise vermutlich geringfügig senken, jedoch muss die Differenz durch eine höhere Wertschätzung für die erzeugten Produkte getragen werden.

8.6 Maßnahme: Informationskampagnen für Phytotherapeutika und Futtermittelzusatzstoffe.

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Es existieren eine Reihe potentieller Phytotherapeutika oder Futtermittelzusatzstoffe zur Förderung der Wundheilung, Unterstützung der Atemwegsfunktion oder mit Wirkung auf den Gastrointestinaltrakt. Demgegenüber stellen Atemwegsinfektionen oder Durchfälle die häufigsten Indikationen für den Antibiotikaeinsatz dar. Zunächst fehlen für Phytotherapeutika und Futtermittelzusatzstoffe belastbare evidenzbasierte Studien, damit ihre Wirkungen nachgewiesen und anerkannt werden. Der bereits geschaffene Weg über die Zulassung als Futtermittelzusatzstoff hat nach Aussage der betroffenen Firmen den Nachteil, dass die Werbung mit dem Nutzen für die

Gesundheit lt. Heilmittelwerbegesetz untersagt ist, da die Stoffe nicht als Arzneimittel zugelassen sind. Für kleinere Unternehmen ohne eigene Forschungsabteilung sollten hier Möglichkeiten geschaffen werden, wie z.B. der Nachweis der Beteiligung an Gemeinschaftsforschungsprojekten im Rahmen der Wirksamkeitsstudien und der Risikobewertung.

Das Wissen und die Erfahrungen zum Einsatz von Phytotherapeutika oder Futtermittelzusatzstoffen muss auch unbedingt zusammengefasst und kommuniziert werden. Es gibt bereits einige potentiell wirksame Produkte auf dem Markt, wichtig wäre die gezielte Information von Tierhaltern und Tierärzten zu diesen Alternativen und die Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben, um eventuelle Vorteile wissenschaftlich belegen zu können.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Der großtechnische Einsatz von pflanzlichen Arzneimitteln und Futtermittelzusatzstoffen wäre vor allem aus Gründen der Umweltrelevanz und Lebensmittelsicherheit wünschenswert und würde vermutlich insbesondere den metapylaktischen Einsatz von Antibiotika reduzieren.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

In der Praxis ist die Wirkung von pflanzlichen Arzneimitteln und Futtermittelzusatzstoffen stark abhängig von optimalen Hygiene- und Haltungsbedingungen und erfordert ein sehr vorrausschauenden Einsatz, verbunden mit einer guten Tierbeobachtung und der Erfahrung, frühzeitig Verhaltensänderungen im Hinblick auf Gesundheit zu deuten.¹⁰ Deswegen sei an dieser Stelle darauf verwiesen, dass beim Einsatz von Phytoarzneimitteln die Wirkung nur bei gleichzeitiger Optimierung des einzelbetrieblichen Gesundheitsmanagements erwartet werden kann (siehe Maßnahmen in Kapitel 4).

8.7 Maßnahme: Informationskampagnen für die breitere Öffentlichkeit zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Informationskampagnen, die zur Bewusstseinsbildung in der Öffentlichkeit zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt einen Beitrag leisten, können als indirektes Mittel zu ihrer Reduzierung betrachtet werden (PAN-Germany, 2013). Ein Beispiel hierfür bildet das PAN-Germany Projekt „Tierarzneimittel in der Umwelt“, das verschiedene Informationsmaterialien zum Thema bereitstellt.¹¹ Ein gesteigertes Bewusstsein für die Thematik unter Verbrauchern kann durch ein verändertes Konsumverhalten Marktanreize für die Einhaltung gewisser Praktiken seitens tierproduzierender Betriebe entfalten. Ein Problembewusstsein in der Bevölkerung kann auch für die Regulierungsbehörden einen generellen Handlungsdruck erzeugen. Verbraucherorientierte Initiativen des Lebensmitteleinzelhandels gibt es viele: Um nur einige Beispiele zu nennen, einige stehen für Umweltkriterien in der Tierproduktion (z.B. das Marine Stewardship Council (MSC)-Zertifikat für nachhaltige Fischerei), für das Tierwohl (z.B. gestuftes Tierschutzlabel, Initiative Tierwohl, Gutfleisch u.a.), und für den Einsatz von Chemikalien in der Lebensmittelproduktion.

¹⁰ Beispielsweise sind eine verlängerte Liegezeit oder verringerte Futteraufnahme des Einzeltieres Indizien für eine mögliche Beeinträchtigung seiner Gesundheit.

¹¹ <http://www.pan-germany.org/deu/projekte/tierarzneimittel.html>

Dabei kann das Thema separat für sich behandelt werden (ein Beispiel hierzu ist PAN-Germany, 2013). Darüber hinaus sollten aber auch Chancen wahrgenommen werden, Tierarzneimittel in der Umwelt im Kontext weiterreichender Zusammenhänge, die die Öffentlichkeit bewegen, zu behandeln. In den Vereinigten Staaten – vielleicht auch als Folge der unterschiedlichen Tierschutz- und Umweltschutzstandards – findet z.B. die Diskussion zu Tierarzneimittel in der Umwelt in der Regel eingebettet in einer Debatte zu den Umweltfolgen von großen tierproduzierenden Betrieben statt (z.B. Webseiten des National Resources Defense Council)^{12,13}. Kommunikative Synergien wären auch denkbar mit dem Thema Aquakultur, sowohl in Hinsicht auf Resistenzen, wie auch eingebettet in einem Narrativ der mancherorts problematischen sozialen und ökologischen Folgen (z.B. Magrovenrodung für Shrimpszucht). Somit könnte die öffentliche Wahrnehmung durch verschiedene Themen für Tierarzneimittel in der Umwelt sensibilisiert werden. Dabei muss allerdings sichergestellt werden, dass bei öffentlichen Kampagnen die Informationen differenziert dargestellt werden und sensibel mit beteiligten Akteuren umgegangen wird.

Wirkung der Maßnahme auf die Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt

Die Wirkung dieser Maßnahme ist vorwiegend indirekt: Durch den Druck der Öffentlichkeit und eine höhere Zahlungsbereitschaft für Lebensmittel tierischer Herkunft kann das Verhalten der Akteure in Richtung einer Minderung von Tierarzneimitteleinträgen geprägt werden.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Die Vermittlung von komplexen wissenschaftlichen Zusammenhängen, von Wissenslücken und von Risiken an die breite Öffentlichkeit ist ein sensibles Unterfangen. Zu vermittelnden Botschaften müssen sowohl einfach dargestellt als auch wissenschaftlich präzise sein.

8.8 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

Eine erste Handlungsmöglichkeit wäre, die bestehenden Verpflichtungen von Tierärzten und Tierhaltern zur Weiterbildung durch bildungspolitische Anreizsysteme, wie Bildungschecks und Bildungsgutscheine wirkungsvoll zu ergänzen bzw. thematisch zu steuern. Das hierzu erforderliche Geld sollte sowohl aus Landes- als auch aus Bundesprogrammen zur Verfügung gestellt werden. Die auf Umweltproblematiken sensibilisierten Tierärzte können dann als Multiplikatoren das Wissen an Tierhalter weitergeben oder ihr eigenes Verschreibungsverhalten entsprechend verändern.

Darüber hinaus könnte auf die Erweiterung und Stärkung von präventiven Gesundheitsmanagementmaßnahmen und andere Tierarzneimittel-Minimierungsmaßnahmen in den landwirtschaftlichen Beratungen (Tierschutz, Tiergesundheit, Wasserschutz) hingearbeitet werden. Ein gutes Beispiel hierfür sind die Beratungen, die von den Landwirtschaftskammern durchgeführt werden. Es könnten speziell für diese Beratungen Informationsmaterialien für spezifische Tierarten und Altersabschnitte, wie auch für verschiedene Anbausorten (zwecks angepasster Düngung) entwickelt werden. Weiterhin wäre eine Förderung von Demonstrationsbetrieben denkbar, die unter wissenschaftlicher Betreuung ihren Gesundheitsstatus optimieren, Umbaumaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit und Tierwohls oder andere Veränderungen durchführen wollen und anschließend ihre Erfahrungen bei Besichtigungsterminen weitergeben könnten.

Tierarzneimittelrelevante Informationen könnten in bestehenden Informationsangeboten, wie z.B. sicherer Umgang mit Tierarzneimitteln (Gefahrenstoffe) aufgenommen werden, ggf. auch in

¹² <http://www.nrdc.org/water/pollution/ffarms.asp>

¹³ <http://www.nrdc.org/water/pollution/nspills.asp>

Informationsmaterialien von Ministerien und Behörden. Eine Möglichkeit wäre eine Art Prioritätenliste mit konkreten Kriterien zu erstellen, um den verantwortlichen Tierärzten bei der Entscheidung für ein Tierarzneimittel die Bewertung der Umweltrelevanz zu erleichtern. Die Förderung von Kommunikationskampagnen zu Tierarzneimitteln in der Umwelt durch wissenschaftliche Gesellschaften und Fachverbände sollte weiterhin anvisiert werden.

9 Umweltmonitoring

Stephan Hannappel
HYDOR Consult GmbH

Maßnahmenüberblick:

9.2	Maßnahme: Überwachung der Abluft von Stallstäuben auf Antibiotika-Wirkstoffe	158
9.3	Maßnahme: Monitoring (Screening) von organischen Wirtschaftsdüngern auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe	160
9.4	Maßnahme: Screening von Böden und Sickerwasser auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe	161
9.5	Maßnahme: Sektorenübergreifendes Monitoring der Einträge von Antibiotika aus der Tierhaltung in die Umwelt	162
9.6	Maßnahme: Layout eines Grundwasser-Monitorings für das Einzugsgebiet eines Wasserwerks	163
9.7	Maßnahme: Überwachung der Emissionen einer großen Anlage zur Tierhaltung	164

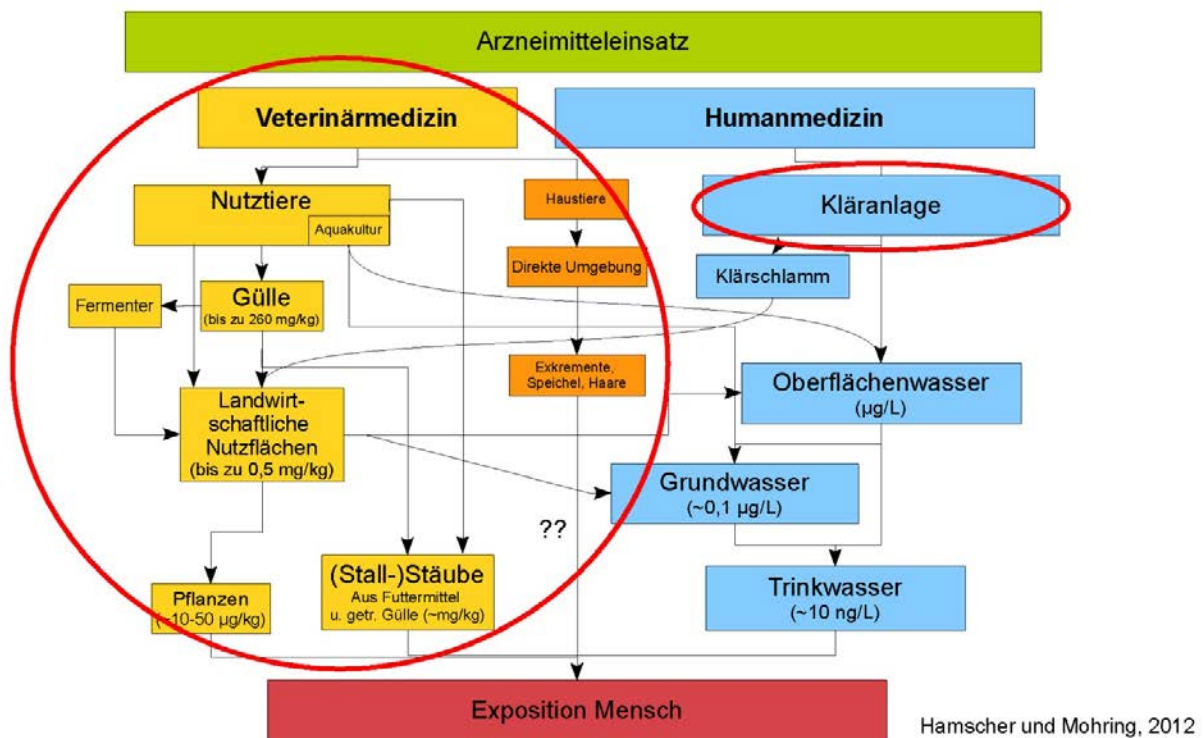
9.1 Problemstellung

Umweltmonitoring ist die systematisch konzipierte und langfristig angelegte Überwachung der relevanten Umwelt-Teilbereiche bzw. -kompartimente. In Bezug auf das Monitoring von Tierarzneimitteln in der Umwelt sind folgende Kompartimente, in denen die Substanzen akkumulieren können, von Bedeutung:

Kot, Urin, Kleinkläranlagen, Klärschlamm, Pflanzen, Lebensmittel, organischer Wirtschaftsdünger inkl. von Gärresten als stärkste Emissionsquelle, Stallabluft, Nutzpflanzen, Bodenlebewesen, abiotische Bodenbestandteile, Sickerwasser in der ungesättigten Zone unterhalb der Bodenzone, oberflächennahes Grundwasser und oberirdische Gewässer (Fließ- und Standgewässer). Letztere sorgen in der Natur vor allem für den Abtransport der Stoffe.

Abbildung 5 dokumentiert zum Arzneimitteleinsatz in Veterinär- (linke Seite) und Humanmedizin (rechte Seite) die potentiellen Eintragspfade in die Umwelt mit Angaben zur Größenordnung der in der Literatur bisher bekannten Konzentrationen der Stoffe im jeweiligen Medium. Spezifisch für Tierarzneimittel insgesamt (großer roter Kreis) ist der Eintrag über die Gülle und die landwirtschaftlichen Nutzflächen in das oberflächennahe Grundwasser. Bei Humanarzneimitteln hingegen erfolgt der Eintrag in die Umwelt im Wesentlichen erst nach der Passage durch die Kläranlage (kleiner roter Kreis auf der rechten Seite). Zudem gelangen die Stoffe dann zunächst in das Oberflächenwasser und nur sehr nachgeordnet – im Falle der durch Wasserwerksbrunnen induzierten Uferfiltration – in das Grundwasser.

Abbildung 5: Potentielle Eintragspfade von Arzneimitteln in die Umwelt (aus: Hamscher & Mohring 2012)



Das tiefere Grundwasser aus dem zweiten Grundwasserstockwerk unter Bedeckung, aus dem in Deutschland ganz überwiegend – und in Regionen hoher Viehbesatzdichte aufgrund der Belastung

des oberen Stockwerkes ausschließlich – Trinkwasser gewonnen wird, wird hier nicht als primär und direkt betroffenes Umweltkompartiment betrachtet. Aufgrund der deutlich längeren Verweilzeiten des Wassers im Untergrund ist die Vulnerabilität gegenüber landwirtschaftlichen Stoffeinträgen hier deutlich geringer. Zudem sind im Trinkwasser von Versorgungsbrunnen aus diesen Bereichen bislang auch keine Funde dokumentiert (Penning & Teppema, 2015). Aus Gründen der Vorsorge bezieht sich dennoch eine der vorgeschlagenen Maßnahmen auf Wasserversorgungsunternehmen.

Der Kenntnisstand zum Verbleib von Tierarzneimitteln ist in den genannten Medien im Vergleich untereinander jedoch sehr heterogen. Zu Rückständen von Antibiotika-Wirkstoffen im Wirtschaftsdünger und Boden gibt es die meisten Untersuchungen, während der Verbleib anderer Tierarzneimittelgruppen in den übrigen Umweltteilbereichen nur sehr selten untersucht ist.

Ein bedeutender, bislang oft unterschätzter Eintragungsweg für Arzneimittelrückstände in die Umwelt, der zunehmend in den Fokus gerät, ist die Luft in Tierställen. Inzwischen ist belegt (Hamscher et al., 2005), dass Rückstände von Tierarzneimitteln, insbesondere von als Pulver verabreichten Präparaten, in die Stallluft gelangen, über die Stallabluft mit Staub und Bioaerosolen aus den Ställen ausgetragen werden und sich in der Umgebung verteilen. Das gilt sogar für Antibiotika, die intramuskulär injiziert werden. Auf diese Weise können Arzneimittelwirkstoffe ebenfalls in den Boden und in Oberflächengewässer eingetragen werden, auf Pflanzen abgelagert werden und somit ggfs. in die Lebensmittelkette gelangen. Durch Aufnahme von Arzneimittelstäuben von im Stall befindlichen Tieren oder Menschen, welche nicht in Behandlung sind, können auch in gesunden Organismen Antibiotikaresistenzen entstehen. Nachgewiesen ist auch, dass unbehandelte Tiere eine MHK-Verschiebung (geringere Sensitivität gegenüber dem Antibiotikum) aufwiesen, wenn im gleichen Stall andere Tiere behandelt wurden. Ferner können vermehrt resistente Keime in der Stallluft auftreten.

Generell verhalten sich die unterschiedlichen Gruppen der Tierarzneimittel in den verschiedenen Umweltmedien sehr spezifisch (Qian Sui et al., 2015): Tetracykline sind z.B. oftmals im Boden und fast nie im Grundwasser und Sulfonamide dagegen – wenn auch in niedrigen Konzentrationen – gehäuft im oberflächennahen Grundwasser nachgewiesen (Balzer et al., 2015, Hannappel et al., 2014). Der Eintrag der Stoffe in Umweltmedien erfolgt unvermeidlich - aufgrund des oft sehr hohen Anteils der unverändert vom Tier ausgeschiedenen Stoffe - über die in der Landwirtschaft eingesetzten organischen Wirtschaftsdünger. In diesen finden sich Anteile der den Tieren verabreichten und von ihnen ausgeschiedenen Tierarzneimittel, welche substanzspezifisch 50 bis 90 % der verabreichten Dosis betragen können (Kim et al., 2011).

In Frankreich wurde anhand eines aktuell durchgeführten Screenings von sog. neuartigen Spurenstoffen festgestellt, dass unter landwirtschaftlich geprägten Standorten das Grundwasser durch den Einsatz von Tierarzneimitteln in der Nutztierhaltung signifikant beeinflusst ist. Verschiedene Antibiotika aus der Gruppe der Makrolide (z.B. Erythromycin) wurden z.B. wiederholt nachgewiesen (Lopez et al., 2015). Auch über Gärreste aus Biogasanlagen können Tierarzneimittelrückstände in den Boden eingebracht werden, da in den Anlagen unter anderem auch Gülle eingesetzt wird, in der u. U. die Arzneimittel nicht vollständig abgebaut werden. Über den Boden können die Rückstände dann von Pflanzen aufgenommen werden und damit auch nichttierische Lebensmittel kontaminieren (BMEL, 2015c). Antimikrobielle Substanzen im Boden können die Bodenflora beeinflussen, die für einen fruchtbaren und gesunden Boden essentiell ist. Resistenzentwicklung durch den Eintrag ist möglich (BMEL, 2015c). Inwieweit Rückstände von Antibiotika im Boden zur Resistenzselektion beitragen und welche Bedeutung dieser Selektionseffekt auch im Verhältnis zum Selektionseffekt am Ort des Einsatzes hat, ist derzeit Gegenstand vieler wissenschaftlicher Untersuchungen in Deutschland (Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, 2015).

Neben dem Ausmaß des Einsatzes sind vor allem Fragen der Verstoffwechslung der Substanzen im Tier sowie des Abbaus in Dung und Gülle von Bedeutung für die Umweltbelastung. Während einige

Substanzen relativ rasch in Dung und Gülle abgebaut werden (z.B. Penizilline), zeigen andere Substanzen wie z.B. Tetrazykline, aber auch Sulfonamide eine hohe Persistenz. Beide Antibiotikagruppen gehören zu den am häufigsten in der Tierproduktion eingesetzten, antimikrobiellen Wirkstoffen. So binden die weltweit im Boden sehr gut untersuchten Tetrazykline stärker an den Boden als Sulfonamide, die in Konsequenz dessen auch in das Grundwasser eingetragen werden können (Balzer et al., 2015, Germershausen, 2015, Hannappel et al., 2014). So wurden an verschiedenen Standorten in NRW, Niedersachsen und Schleswig-Holstein im Ergebnis aktueller Untersuchungen (Balzer et al., 2015) Sulfonamide im Grundwasser bereits nachgewiesen, die messstellenbezogenen Anteile lagen zwischen 15 und 20 %.

In Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen fanden sich in der Weser-Ems - Region mit intensiver Tierhaltung und dementsprechend hohem Wirtschaftsdüngeranfall teilweise bedenklich hohe Werte von Tetrazyklinen im Boden. Tetrazykline sind mit einem Anteil von 35 % an der gesamten Antibiotikamenge die bedeutendste bei Schweinen abgegebene Substanzklasse in Deutschland. Tetrazyklin wird im Wesentlichen unverändert ausgeschieden, und auch während der Lagerung der Gülle erfolgt nur ein geringer Abbau. Untersuchungen von Gemüse in der Region zeigen jedoch, dass die Wirkstoffe nur in geringen Mengen von den Pflanzen aufgenommen werden können.

Offenbar bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Antibiotikagruppen, sowohl was den Abbau in Dung und Gülle während der Lagerung, als auch was die Bodenbindung und den Einfluss auf die Bodenflora angeht (Jechalke et al., 2014). Während für Tetrazykline solche Effekte bisher nicht beschrieben werden, haben unterschiedliche Arbeitsgruppen gezeigt, dass Sulfonamide Effekte auf die Bodenflora im Sinne einer Anreicherung von Resistenzdeterminanten haben. Deren Bedeutung für das Resistenzgeschehen insgesamt wurde aber bisher nicht quantifiziert.

Trotz der Bedeutung der Umwelteffekte steht eine nähere Bewertung der Folgen, wie z.B. der Resistenzbildung bei bestimmten Substanzen noch aus. Das Monitoring von Arzneimitteln in der Umwelt befindet sich aktuell noch im Aufbau, das wurde anlässlich einer Tagung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Februar 2015 in Osnabrück berichtet (Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, 2015). Auch die Teilnehmer des Workshops zur Reduzierung der Tierarzneimitteleinträge in die Umwelt im März 2016 in Berlin waren sich hinsichtlich der Bedeutung des Monitorings einig, dass es zum jetzigen Zeitpunkt sehr wichtig sei, aktuelle Daten im Zuge des Monitorings der verschiedenen Umweltkompartimente zu generieren, mit denen Maßnahmen gezielt vorbereitet und durchgeführt werden müssten. Hierbei müssten zum Einen auch besonders empfindliche Umweltmedien, wie z.B. Kleingewässer und vulnerable Böden, in die Überwachung integriert werden. Zum Anderen wurde eine Ausweitung des Monitorings auch auf andere Wirkstoffgruppen, wie z.B. Antiparasitika und Hormone, als wünschenswert erachtet. Auch die Standardisierung bzw. Einhaltung von Normen bei der Probenahme und Analytik wurde angemahnt.

Zu den Zielen eines Umwelt-Monitoring in Hinblick auf Tierarzneimittel sollte insbesondere das Monitoring von Antibiotika in Regionen mit besonders hoher Viehdichte zählen. Der wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik hält in seinem Gutachten 2015 die Kontrolle des Grundwassers auf antimikrobielle Substanzen für unverzichtbar (BMEL, 2015c). Diese sollte unserer Auffassung nach um die langjährige, sektorenübergreifende Kontrolle - also das Monitoring - aller betroffenen Umweltkompartimente an dafür methodisch geeigneten und möglichst repräsentativen Standorten erweitert werden (s. die entsprechend dazu vorgeschlagene Maßnahme). Vor allem die medienübergreifenden – also wasser- und bodenbetreffenden – Wechselwirkungen von verschiedenen Tierarzneimitteln in der belebten Bodenzone, in der wasserungesättigten Zone und im darunter liegenden Grundwasser unter realen und saisonal wechselnden Standortbedingungen sind bisher nicht oder nicht ausreichend bekannt – vor allem im Hinblick auf Retardation, Lösung und/oder mikrobiellen Abbau in Abhängigkeit vom pedo- bzw. hydrochemischen Milieu. Auch die

Übertragbarkeit von im Labor (z.B. anhand von Säulenversuchen) gewonnenen Erkenntnissen auf reale Verhältnisse in der Natur muss an solch geeigneten Standorten validiert werden.

In einigen Bundesländern existieren sog. Boden-Dauer-Beobachtungsflächen (BDF). In Niedersachsen sind die meisten BDF auf landwirtschaftliche Nutzflächen angelegt. Die anderen betroffenen Umweltmedien sind hier nicht integral berücksichtigt, können aber durch den Bezug zu den bei den Landesämtern vorhandenen Grundlagendaten aufgenommen werden.

Insgesamt kann konstatiert werden, dass im Umweltmonitoring von Tierarzneimitteln bundesweit ein erkennbarer Handlungsbedarf im Hinblick auf die Schaffung konzeptioneller Grundlagen und auch ein länderübergreifender Harmonisierungsbedarf besteht, insbesondere in den viehstarken Veredelungsregionen mit sehr hohem Anfall von Wirtschaftsdüngern (Güllen und Gärreste) in Nord- und Nordwest- sowie Süddeutschland.

Die sechs aus dieser Analyse abgeleiteten und nachfolgend vorgestellten Maßnahmen zum Handlungsfeld Umweltmonitoring sollen dazu einen Beitrag leisten. Die ersten drei dieser Maßnahmen beziehen sich sektoral auf einzelne Umweltkompartimente und sind als Screening-Maßnahmen zu verstehen, da hier die Datenbasis in Deutschland bisher nur wenig aussagekräftig und demnach verbesserungsbedürftig ist. Die vierte Maßnahme integriert alle Sektoren an einem oder wenigen, repräsentativen Standorten.

Da die Maßnahmen im Handlungsfeld Umweltmonitoring nicht direkt zur Reduzierung von Arzneimitteleinträgen in die Umwelt beitragen, sondern der Datengewinnung zur Überprüfung der Effektivität der vorgeschlagenen Maßnahmen in den übrigen Handlungsfelder dienen, sind die Wirkung und Wirkungsgrenzen der vorgeschlagenen Maßnahmen nicht direkt zu vermitteln. Die Monitoring-Maßnahmen werden jeweils technisch im Detail beschrieben. Eine Abschätzung des Aufwandes in technischer und finanzieller Hinsicht kann zu den vorgeschlagenen Maßnahmen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorgenommen werden, da es sich lediglich um eine erste Skizzierung von Maßnahmen handelt und eine darauf basierende Kostenschätzung zu sehr großen Unsicherheiten führen würde.

9.2 **Maßnahme: Überwachung der Abluft von Stallstäuben auf Antibiotika-Wirkstoffe**

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Im Rahmen eines deutschen Verbundprojektes wurde anhand von sog. „In-vivo-Schweineversuchen mit Sulfadiazin“ alternativ Pulver- und Pelletfütterungen vorgenommen und die sich daraus ergebenden Emissionen gemessen (Hamscher et al., 2013). Die Applikation von Tierarzneimitteln in Pulverform über das Futter ist derzeit üblich. Sie führt dazu, dass Arzneimittel als Staub und Aerosol über den Luftweg auch in andere Stallbereiche verschleppt werden. Sie hat auch zur Folge, dass Landwirte und Tierärzte Stallstäube inhalieren und über die Abluftsysteme der Stallungen Wirkstoffe auch in die Stallumgebung gelangen.

Der Eintrag von Antibiotika über Stallstäube stellt ein unmittelbares Risiko für den Menschen und für unbehandelte Tiere im gleichen Stall aufgrund von Resistenzentstehung und –verbreitung dar. Aufgrund der retrospektiv analysierten Staubproben muss von einer langfristigen Exposition von Landwirten z.B. gegenüber allergen wirksamen Stoffen wie Tylosin und Sulfonamiden ausgegangen werden. Bekannt ist zudem schon seit längerem (Hamscher, 2003), dass 80 % der kultivierbaren Bakterien in der Abluft Tylosin-resistent sind. Auch Verschleppungen von Arzneimittelrückständen in die Lebensmittelkette sind Risiken, die von Stallstäuben ausgehen können.

Wenn der Landwirt antibiotikahaltige Stäube einatmet gelangen die Wirkstoffe in die Lunge. Daneben nehmen der Landwirt sowie unbehandelte Tiere möglicherweise auch antibiotikaresistente Krankheitskeime auf. Diese können dann, z.B. bei Behandlung des Landwirts im Krankenhaus, an die allgemeine Bevölkerung weitergegeben werden und so die Resistenzproblematik auch im humanmedizinischen Bereich verschärfen, v.a. bei Medikamenten, die von Kreuzresistenzen betroffen sind. Antibiotika und resistente Keime können auch über die Stallluft ins Freie transportiert und dort weiter verbreitet werden (Höper, 2016).

In praxisnahen Untersuchungen konnte seitens der Autoren mit wenigen Proben aus einem Stall gezeigt werden, dass bei der Verwendung von Pellets anstelle von Pulver die Sulfadiazingehalte in der Stallumgebung deutlich geringer ausfallen. Dieses Ergebnis sollte durch eine umfängliche Untersuchung validiert werden. Folgende Arbeitsschritte sollten durchgeführt werden:

1. Gewinnung von Landwirten mit verschiedenen Tierhaltungen (Rinder, Schweine, Geflügel) zur freiwilligen Mitarbeit am Projekt;
2. Auswahl der Ställe nach vor-Ort-Besichtigungen bei den Landwirten;
3. Auswahl der Medikamente und Analysemethoden zum Nachweis der Wirkstoffe;
4. Definierte Gabe von Medikamenten in verschiedener Verabreichungsform (Pulver/Pellets) und -menge;
5. Vergleichende Messung der Wirkstoffe im Plasma und im Urin der Versuchstiere;
6. Vergleichende Messung der Wirkstoffe in Sedimentationsstaubproben aus unterschiedlichen Bereichen des Stalles (Tröge, Fensterbänke, Liegeflächen, Stallgassen, Rinnen) zu verschiedenen Zeitpunkten nach den Gaben;
7. Messung der Wirkstoffe in den Stallaerosolen und den Filterstäuben;
8. Datenaggregation und -auswertung durch Einordnung der erhobenen Daten und abgeleiteten Interpretationen in den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand.

Mit den gewonnenen Daten muss geprüft werden, ob eine Übertragung der bisher bekannten Daten zu Sulfadiazin auf andere Sulfonamide und auch auf andere Tierarzneimittel gerechtfertigt wäre, wie dies die Autoren der DBU-Studie mutmaßen.

Wirkung der Maßnahme auf die TAM-Einträge in die Umwelt

Die Maßnahme hat aufgrund ihres Monitoring-Charakters keinen direkten Einfluss auf eine Reduzierung der Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Sie soll aber zur Erfolgskontrolle des Eintrages der Stoffe beitragen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Maßnahme kann keine unmittelbar messbare Wirkungsgrenze zugeordnet werden, da sie keine direkte Eintragsminderung von Tierarzneimitteln beinhaltet.

9.3 **Maßnahme: Monitoring (Screening) von organischen Wirtschaftsdüngern auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe**

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Daten zu Tierarzneimittel-Rückständen in organischen Wirtschaftsdüngern sind in Deutschland bisher nur lückenhaft vorhanden. In einem bayernweiten Güllemonitoring wurden 2002 – basierend auf einer repräsentativen Auswahl von 900 angeschriebenen Betrieben – 380 Gülle von schweinehaltenden Betrieben analysiert (Harms, 2006). In Nordrhein-Westfalen wurden 2009 vom LANUV in einer Überblicksuntersuchung die Belastung von 34 Gülle- und 35 Gärrestproben mit den mengenmäßig wichtigsten Veterinärantibiotika ermittelt (Ratsak et al., 2013). Die Proben stammten aus Güllelagern in landwirtschaftlichen Betrieben und Gärrestlagern bei Biogasanlagen und wurden auf verschiedene Einzelsubstanzen der Stoffgruppen der Tetrazykline, Sulfonamide und Fluorchinolone untersucht. Aufgrund der in den letzten Jahren stark fortentwickelten Analysemethoden sind die Daten dieser Untersuchungen heute nur noch eingeschränkt wissenschaftlich verwendbar. Dieses Manko soll durch die vorgeschlagene Maßnahme behoben werden. Ziel ist es, Wirtschaftsdünger von allen relevanten Tierarten und aus geografisch unterschiedlichen Regionen Deutschlands in ausreichend großer, repräsentativer Anzahl (Ziel: mehrere Hundert Proben) und über mehrere Jahre saisonal variabel zu beproben, um mit den Daten statistisch abgesicherte Auswertungen vornehmen zu können.

Der Grund für die wenigen bisher durchgeführten Untersuchungen mit Screening-Charakter liegt auch darin, dass es sich bei Wirtschaftsdüngern um den privaten Besitz der landwirtschaftlichen Betriebe handelt, die also von der Mitarbeit überzeugt werden müssen.

Folgende Arbeitsschritte müssen im Einzelnen durchgeführt werden:

1. Auswahl repräsentativer Groß- und Kleinbetriebe auf Grundlage der amtlichen Agrarstatistik (Tierzählung) 2016 mit Informationen auf Gemeindeebene;
2. Einbeziehung der Interessensvertreter und/oder Verbände der Landwirtschaft durch Vorstellung der Projektziele;
3. Gewinnung der Landwirte zur freiwilligen (oder entschädigungspflichtigen) Mitarbeit am Projekt;
4. Einholung von Informationen zum Medikamenteneinsatz bei den Tieren im vergangenen Zyklus;
5. Auswahl der Wirkstoffe für die differenzierte Analytik entsprechend der eingesetzten Medikamente bzw. der betroffenen Tierarten;
6. Vor-Ort-Inspektion der Gülle- und/oder Gärrestbehälter mit dem Ziel der Klärung der technischen Voraussetzungen für die Probenahme durch geeignete und beim Landwirt vorhandene Aufrührerärschaften;
7. Monatlich mehrfach (z.B. viermal von Februar bis Mai eines Jahres) wiederholte Beprobung der Wirtschaftsdüngern nach standardisierten Verfahren (z.B. der LUFA-Nordwest zur „Information zur Probenahme von Wirtschaftsdüngern“ und der „Düngemittel-Probenahme und Analysen-Verordnung vom 27.07.2006“)
8. Vorgeschaltete Extraktion und Homogenisierung der Proben im Labor;
9. Laborchemische Analytik der entnommenen Proben auf die ausgewählten Substanzen mittels HPLC-MS/MS sowie begleitende Nährstoffanalytik (Stickstoff, Phosphor, Kalium);
10. Datenaggregation und –auswertung durch Einordnung der erhobenen Daten und abgeleiteten Interpretationen in den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand.

Wirkung der Maßnahme auf die TAM-Einträge in die Umwelt

Die Maßnahme hat aufgrund ihres Monitoring-Charakters keinen direkten Einfluss auf eine Reduzierung der Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Sie soll aber zur Erfolgskontrolle des Eintrages der Stoffe beitragen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Maßnahme kann keine unmittelbar messbare Wirkungsgrenze zugeordnet werden, da sie keine direkte Eintragsminderung von Tierarzneimitteln beinhaltet.

9.4 Maßnahme: Screening von Böden und Sickerwasser auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Der Eintrag von antibiotisch wirksamen Substanzen in niedrigen Konzentrationen in Böden kann neben der direkten Wirkung auf Bodenorganismen auch zur Induktion bzw. Verbreitung von Antibiotikaresistenzen führen. Bekannt ist, dass Bodenbakterien ein Reservoir für Resistenzgene mit hoher genetischer Diversität bilden. Da eine Übertragung von Antibiotikaresistenzen auf humanpathogene Keime nicht auszuschließen ist, kann die Anwendung von Antibiotika bei der Behandlung mikrobiell bedingter Erkrankungen bei Menschen zu einer verringerten Wirksamkeit führen.

Vergleichbar zur Datenlage bei den Stallstäuben und den Wirtschaftsdüngern sind auch zum Boden und insbesondere zum Sickerwasser bisher nur wenig belastbare Daten zu analysierten Wirkstoffkonzentrationen von Antibiotika in Deutschland vorhanden. Zur Einschätzung des Vorkommens von Tierarzneimittelrückständen wurden an 21 Standorten in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2008 z.B. mit Gülle gedüngte Böden und oberflächennahes Grundwasser aus dem Einzugsbereich dieser Flächen auf Rückstände der Tierarzneimittel aus den Wirkstoffgruppen Tetrazykline, Sulfonamide und Fluorchinolone untersucht (Hembrock-Heger et al., 2011). Derartige Untersuchungen müssen aktualisiert und ausgeweitet werden, um mit den Erkenntnissen belastbare Aussagen zum Verbleib der Wirkstoffe in der Natur treffen zu können. Aus diesem Grund wird auch hier zunächst eine Untersuchung mit Screening-Charakter in typischen Bodenregionen bzw. –landschaften Deutschlands vorgeschlagen.

Erweitert werden sollte das Monitoring von Böden durch die Untersuchung der wässrigen Phase innerhalb der ungesättigten Zone unterhalb der Bodenzone durch Saugsondenanlagen oder Lysimeter. Diese bestehen im Wesentlichen aus einem in den Boden eingelassenen Zylinder mit einer porösen Bodenplatte, in dem ein Bodenausschnitt enthalten ist. Sie ermöglichen die quantitative und qualitative Beprobung von Bodensickerwasser. Auf diese Weise werden in der Umweltforschung und Landwirtschaft die Wechselwirkungen und der Stofftransport zwischen der Atmosphäre, den Pflanzen, dem Boden, der Tierwelt und dem Grundwasser erfasst. Dabei lässt sich auch die Migration von Schadstoffen von der Bodenoberfläche in den Boden verfolgen.

Folgende Arbeitsschritte müssen im Einzelnen durchgeführt werden:

1. Entwicklung von Auswahlkriterien für die (grobe) Selektion von Standortbereichen für das Bodenmonitoring (z.B. mit der Bodenübersichtskarte 1 : 1 000 000 und dem Hydrologischen Atlas von Deutschland);
2. Detailplanung der Standorte (BK 50) für die Probenahme durch vor-Ort-Besichtigungen

3. Gewinnung der Landwirte zur freiwilligen Mitarbeit am Projekt durch die Gewährung der Erlaubnis zur Entnahme von Bodenproben der landwirtschaftlichen Schläge;
4. Pedologische Bestimmung von Bodenart und Bodentyp anhand vorgeschalteter Bohrstockkartierung;
5. Wiederholte Entnahme repräsentativer Bodenproben aus den Tiefen 0 bis 30 cm (organische Auflage bzw. Mutterboden), 30 bis 60 cm (Pflughorizont) und 60 bis 90 cm (mineralischer Unterboden);
6. Auswahl relevanter Wirkstoffe zur Analytik (Tetrazykline, Sulfonamide, Fluorchinolone);
7. Laborchemische Analytik der entnommenen Proben auf die ausgewählten Wirkstoff-Substanzen mittels HPLC-MS/MS sowie begleitende Nährstoffanalytik (Stickstoff, Phosphor, Kalium);
8. Datenauswertung inkl. Abschätzung der Wirkstofffrachten für die untersuchten Ackerflächen auf Basis der maximal zulässigen Verbringung nach Düngeverordnung und Vergleich mit den im Boden gemessenen Konzentrationen bzw. abgeleiteten Frachten.

Wirkung der Maßnahme auf die TAM-Einträge in die Umwelt

Die Maßnahme hat aufgrund ihres Monitoring-Charakters keinen direkten Einfluss auf eine Reduzierung der Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Sie soll aber zur Erfolgskontrolle des Eintrages der Stoffe beitragen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Maßnahme kann keine unmittelbar messbare Wirkungsgrenze zugeordnet werden, da sie keine direkte Eintragsminderung von Tierarzneimitteln beinhaltet.

9.5 Maßnahme: Sektorenübergreifendes Monitoring der Einträge von Antibiotika aus der Tierhaltung in die Umwelt

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Diese vorgeschlagene Maßnahme umfasst integral alle betroffenen Umweltkompartimente bis zum Grundwasser, und zwar: i. Wirtschaftsdünger (Gülle und/oder Gärrest), ii. Boden, iii. oberirdische Gewässer, iv. Sickerwasser und v. (oberflächennahes) Grundwasser.

Die Maßnahme soll modellhaft an einem oder wenigen Standorten in naturräumlich unterschiedlich ausgestatteten Regionen (z.B. Locker- und Festgesteinsbereich) die Wechselwirkungen zwischen den Umweltmedien aufzeigen. Diese Maßnahme sollte idealerweise nachfolgend in ein von den Ländern betriebenes Dauer-Monitoring übergehen und muss daher projektbegleitend mit den zuständigen Institutionen in den Ländern abgestimmt werden.

Folgende Arbeitsschritte müssen – aufbauend auf den Erfahrungen, die seit 2015 anhand der exemplarischen Durchführung von Fundaufklärungen an sechs Standorten in Niedersachsen gewonnen werden - durchgeführt werden:

1. *Entwicklung von Kriterien zur Auswahl repräsentativer Standorte zum sektorenübergreifenden Umwelt-Monitoring in Deutschland unter Verwendung von worst-case-Kriterien zum Eintrag von Antibiotika in die Umwelt:* Die Standortauswahl muss methodisch nachvollziehbar auf die einzelnen Umweltkompartimente ausgerichtet sein. Die Böden und die ungesättigte Zone z.B. sollten sandig und der Flurabstand des Grundwassers nur wenige Meter betragen.
2. *Herstellung der Akzeptanz bei den betroffenen Landwirten zur Datenübermittlung des Antibiotikaeinsatzes in den Betrieben und Lieferung von Umweltproben aus dem privaten Besitz (Wirtschaftsdünger, Boden):* Die auf den Schlägen in den ober- und unterirdischen

Einzugsgebieten der Standorte wirtschaftenden Landwirte müssen zur freiwilligen Mitarbeit überzeugt bzw. Kompensationszahlungen für den entstehenden Aufwand (Beantwortung von Fragebögen zum Betrieb, Lieferung von Proben zu Wirtschaftsdünger) verhandelt werden.

3. *Technische Einrichtung der Standorte zum sektorenübergreifenden Umwelt-Monitoring:* Die einzelnen Standorte müssen mit den notwendigen Einrichtungen (z.B. Saugkerzen-Sondenanlagen, Grundwassermessstellen, Dränauslässe) ausgestattet werden, um die Messungen kontinuierlich durchführen zu können. Die Einrichtungen müssen dauerhaft und gesichert installiert werden können.
4. *Langjähriges Dauer-Monitoring (Probenahme und Analytik) der ausgewählten Umwelt-kompartimente auf sektorenübergreifend in der Umwelt mobile Antibiotika-Wirkstoffe:* Das Monitoring sollte nach standardisierten Methoden zwei Jahre im monatlichen Rhythmus durchgeführt werden, um auch saisonale Einflüsse erfassen zu können.
5. *Datenaggregation und -auswertung:* Einordnung der erhobenen Daten und abgeleiteten Interpretationen in den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand.
6. *Beteiligung der Öffentlichkeit, der betroffenen Berufsverbände und weiterer Stakeholder vor Ort:* Alle Betroffenen sollten regelmäßig über (Zwischen-)Ergebnisse mit geeigneten Medien informiert werden, um die Akzeptanz zu den durchgeführten Arbeiten herzustellen.
7. Entwicklung von politischen Handlungsstrategien zur Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse

Wirkung der Maßnahme auf die TAM-Einträge in die Umwelt

Die Maßnahme hat aufgrund ihres Monitoring-Charakters keinen direkten Einfluss auf eine Reduzierung der Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Sie soll aber zur Erfolgskontrolle des Eintrages der Stoffe beitragen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Maßnahme kann keine unmittelbar messbare Wirkungsgrenze zugeordnet werden, da sie keine direkte Eintragsminderung von Tierarzneimitteln beinhaltet.

9.6 Maßnahme: Layout eines Grundwasser-Monitorings für das Einzugsgebiet eines Wasserwerks

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

Diese Maßnahme richtet sich an Wasserversorgungsunternehmen der öffentlichen Trinkwasserversorgung mit Förderung des Rohwassers aus dem Grundwasser eines landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebietes der Förderanlagen, in einem Gebiet mit deutlich überdurchschnittlicher Viehbesatzdichte. In diesen Bereichen Deutschlands – also vor allem in Niedersachsen, aber auch in Teilen von Bayern und NRW – wurden bisher zwar nur im oberflächennahen Grundwasser Rückstände von Antibiotika-Wirkstoffen im Grundwasser festgestellt, diese jedoch auch bereits an Vorfeldmessstellen in den Trinkwasserschutz-zonen von Wasserwerken. Das tiefere und wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasser wurde bisher nur sehr selten untersucht (z.B. vom Oldenburgisch-Ostfriesischem Wasserverband anhand eines Screenings der Brunnen, Penning & Teppema, 2015), sodass die Kenntnisse dazu nicht gesichert sind. Vermutet werden kann zwar aufgrund des bekannten Abbauverhaltens der oberflächennah im Grundwasser gefundenen Sulfonamide (Massmann et al., 2009), dass die Konzentrationen im tieferen Grundwasser deutlich geringer sind bzw. die Stoffe im reduzierten Milieu nach langen Verweilzeiten des Wassers im Untergrund mikrobiell komplett abgebaut sind. Diese These gilt es für das Versorgungsunternehmen

mit lokalen Daten seines Einzugsgebietes zu erhärten und damit auch dem Anspruch der Bevölkerung nach Lieferung eines wirkstofffreien Trinkwassers gerecht zu werden.

Ziel der Maßnahme ist die langfristige Sicherstellung der Verwendbarkeit der geförderten Rohwässer für die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung. Folgende Arbeitsschritte müssen im Einzelnen durchgeführt werden:

1. Selektion betroffener unterirdischer Einzugsgebiete der Trinkwasserförderung mit hohen Viehbesatzdichten;
2. Auswahl geeigneter, oberflächennaher und tiefer verfilterter Grundwasserbeschaffungsstellen im Vorfeld der Gewinnungsanlagen für die Trinkwasserversorgung. Bei der Auswahl können die sog. „worst-case-Kriterien“ der Untersuchungen im Auftrag des UBA Verwendung finden (Hannappel et al., 2014), also insbesondere eine intensive Aufbringung von organischem Wirtschaftsdünger auf die Schläge im Zustrom, hohe Stickstoffwerten im Grundwasser, niedrige Pufferkapazitäten der Versickerungszone und geringe Flurabständen des Grundwassers;
3. Beprobte werden sollte stets auch zum Vergleich das Rohwasser relevanter Einzelbrunnen (kein Rohmischwasser) im Abstrom der Vorfeldmessstellen;
4. Festlegung des Parameterspektrums der Laboranalytik nach den bisherigen Kenntnissen;
5. Festlegung der (ggf. messstellenspezifischen) Untersuchungsintervalle sowie der Dauer des Monitorings in Abhängigkeit von den Ergebnissen;
6. Bewertung und Einordnung der Untersuchungsergebnisse inkl. Ableitung von Empfehlungen zur Fortführung oder Differenzierung der Beprobungskampagnen;
7. Regelmäßige Information und Abstimmung der Untersuchungsergebnisse mit den betroffenen Landwirten, deren Verbände und den Wasserwirtschaftsbehörden analog der Kooperationsmaßnahmen in Wasserschutzgebieten zur Senkung der Stickstoff-Konzentrationen;
8. Information der lokalen Presse und der mit Trinkwasser versorgten Bevölkerung durch geeignete Veranstaltungen.

Wirkung der Maßnahme auf die TAM-Einträge in die Umwelt

Die Maßnahme hat aufgrund ihres Monitoring-Charakters keinen direkten Einfluss auf eine Reduzierung der Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Sie soll aber zur Erfolgskontrolle des Eintrages der Stoffe beitragen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Maßnahme kann keine unmittelbar messbare Wirkungsgrenze zugeordnet werden, da sie keine direkte Eintragsminderung von Tierarzneimitteln beinhaltet.

9.7 Maßnahme: Überwachung der Emissionen einer großen Anlage zur Tierhaltung

Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirkungsweise

In Deutschland werden aktuell in verschiedenen Standorten und Bundesländern große Anlagen zur Tierhaltung (z.B. zur Schweinemast) geplant und beantragt, in Brandenburg z.B. haben sich aktuell über 100.000 Bürger im Rahmen eines erfolgreichen Volksbegehrens dagegen gewandt. Bei großen Anlagen ist nach § 1 Abs. 3 der neunten Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) hierfür eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. § 5 BImSchG regelt die Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen,

damit nach § 6 Abs. 1 der BImSchG die Genehmigung der Anlage erteilt werden kann. Die Pflichten sind jedoch in Bezug auf die Auswirkungen auf die Umwelt sehr allgemein gehalten:

„Genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt

- ▶ schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können;
- ▶ Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen“

Durch diese nicht ausreichend konkreten Vorgaben zur Überwachung der Auswirkungen auf die Umwelt besteht keine Garantie dafür, dass z.B. ein erheblicher Eintrag von Antibiotika oder anderen Arzneimitteln über die Ausscheidungen der Tiere und die Verbringung auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen in der Umgebung regelmäßig stattfindet.

Vorgeschlagen wird daher, in den § 5 BImSchG die Überwachung sämtlicher Emissionen von Anlagen oberhalb eines festzusetzenden Bestandes pro Tierart (z.B. ab 10.000 Tierplätzen bei Schweinen) auf die Umwelt insgesamt verbindlich festzuschreiben, und zwar:

1. Erfassung und Überwachung des mengenmäßigen Anfalls von organischem Wirtschaftsdünger;
2. Erfassung und Monitoring des Antibiotika-Einsatzes in den Tierbeständen;
3. Installation von technischen Anlagen und Verfahren zur Luftreinhaltung und Überwachung der Stallstäube;
4. Überwachung der Böden, auf welche die Wirtschaftsdünger verbracht werden, durch Installation von Bodendauerbeobachtungsflächen inkl. der Anlage von Lysimeter und Saugsondenanlagen zur Gewinnung von Sickerwasser;
5. Installation eines Messnetzes zum Grundwasser-Monitoring auf und in der Umgebung der landwirtschaftlichen Nutzflächen, die mit Wirtschaftsdünger beaufschlagt werden;
6. Überwachung der oberirdischen Gewässer im An- und Abstrom der landwirtschaftlichen Nutzflächen, die mit Wirtschaftsdünger beaufschlagt werden;
7. Entnahme von Proben aus den genannten Umweltkompartimenten vor Betrieb der Anlage und Analytik auf geeignete Parameter als Referenzwerte;
8. Regelmäßige Entnahme von Proben während des Dauerbetriebs der Anlage;
9. Bewertung der Analysenergebnisse und Abstimmung mit den Fachbehörden;
10. Information der Öffentlichkeit durch regelmäßige Veranstaltungen vor Ort.

Wirkung der Maßnahme auf die TAM-Einträge in die Umwelt

Die Maßnahme hat aufgrund ihres Monitoring-Charakters keinen direkten Einfluss auf eine Reduzierung der Einträge von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Sie soll aber zur Erfolgskontrolle des Eintrages der Stoffe beitragen.

Wirkungsgrenzen der Maßnahme

Der Maßnahme kann keine unmittelbar messbare Wirkungsgrenze zugeordnet werden, da sie keine direkte Eintragsminderung von Tierarzneimitteln beinhaltet.

9.8 Handlungsoptionen auf politischer Ebene

Umweltmonitoring ist eine langjährige Daueraufgabe, die begleitend und im Anschluss an durchgeführte Maßnahmen zur Reduzierung von Arzneimitteleinträgen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung in die Umwelt realisiert werden muss.

Eine Besonderheit besteht darin, dass aufgrund der föderalen Struktur des Verwaltungsaufbaus in Deutschland überwiegend die jeweiligen Bundesländer für die organisatorische Durchführung von Maßnahmen zum Monitoring der Umwelt zuständig sind. Das hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass zumeist sehr heterogene Strategien verfolgt wurden. Die Grundwasser-Monitoring-Messnetze der Länder z.B. sind aufgrund ihrer zumeist historischen gewachsenen Struktur und sehr heterogenen Quantitäten zumeist nicht direkt untereinander vergleichbar. Auch die im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie eingerichteten Messnetze haben mit der Überwachung der Grundwasserkörper eine deutlich andere, großräumiger ausgerichtete Zielstellung. Zur Bodendauerbeobachtung gibt es ebenfalls keine einheitlichen Vorgehensweisen in den Ländern. Das Sickerwasser wird in keinem Land im Sinne eines regulären Monitorings systematisch beobachtet.

Hier besteht Handlungsbedarf im Hinblick auf eine Harmonisierung der anzuwendenden Methoden zur Überwachung der Auswirkungen des Eintrages von Tierarzneimitteln in die Umwelt. Genutzt werden könnten dafür Erfahrungen in länderübergreifenden Gremien (z.B. der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser oder dem Bund-Länder-Ausschuss der Staatlichen Geologischen Dienste), die bereits langjährig mit Fragen des Monitorings beschäftigt sind.

Bei der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmen zum Monitoring vor Ort böten sich auch Erfahrungen und Netzwerke an, die im Zusammenhang mit der Bewertung der Auswirkungen der landwirtschaftlichen Praxis insgesamt tätig sind. In vielen Ländern existieren z.B. in Wasserschutzgebieten Verbände zwischen Land- und Wasserwirtschaft, die für die Überwachung von Maßnahmen zum Grundwasserschutz innerhalb der Trinkwasserschutzzone zuständig sind.

Wichtig zur Ableitung von Empfehlungen für die politische Ebene ist eine regelmäßige und umfassende Evaluierung der Ergebnisse des technischen Monitorings sowie die Diskussion dieser Ergebnisse in begleitenden Arbeitskreisen, denen möglichst alle von den durchgeführten Maßnahmen betroffenen Akteure angehören sollten. In diesem Rahmen kann auch der Abgleich der Forschungsergebnisse mit den aktuell geltenden Ausführungsverordnungen (z.B. Düngeverordnung) stattfinden, aus dem Empfehlungen zur Novellierung der Verordnungen entwickelt werden könnten.

10 Ausblick

10.1 Forschungsbedarf

Kurt Möller (Institut für Kulturpflanzenwissenschaften der Universität Hohenheim, Stuttgart)

Stephan Hannappel (HYDOR Consult GmbH, Berlin)

Rodrigo Vidaurre (Ecologic Institut)

Eine systematische Durchsicht der in den vorangegangenen Kapiteln zusammengetragenen Maßnahmen zur Reduzierung der Tierarzneimittel-Exposition der Umwelt verdeutlicht, dass zu vielen Aspekten in der gesamten Kette der Tierhaltung, der Wirtschaftsdüngerausbringung und des Umweltverhaltens noch zahlreiche Forschungsdefizite bestehen. Dies gilt sowohl im Bereich der Tierhaltung im Hinblick auf Maßnahmen zur Reduzierung der Verwendung von Tierarzneimitteln, als auch auf Fragen des Verbleibs der Tierarzneimittel während der Wirtschaftsdüngerlagerung bzw. –behandlung sowie zu Umsetzungen und Verbleib von Tierarzneimitteln im Boden, in weiteren Umweltmedien, und ihre Aufnahme durch Pflanzen.

Bislang fehlen vor allem interdisziplinäre Studien zu Auswirkungen eines regelmäßigen Einsatzes von Tierarzneimitteln auf die Resilienz der Stallkeimflora, der Luft- sowie Bodenflora oder der natürlichen Keimbesiedlung von Tieren und Menschen in entsprechenden Biotopen. Noch neu und wenig bekannt sind in diesem Zusammenhang Methoden der Risikobewertung von Tierarzneimitteln im Sinne eines One Health Ansatzes. Darüber hinaus fehlen geeignete Modelle der Kosten-Nutzen-Betrachtung von allen hier aufgeführten Maßnahmen im überbetrieblichen Gesundheitsmanagement.

Zum Verbleib sowie den chemischen und biologischen Umsetzungsprozessen von Tierarzneimitteln während der Wirtschaftsdüngerlagerung und –behandlung bestehen ebenfalls zahlreiche Wissenslücken. Es fehlen Studien, die systematisch auf einen Vergleich der Auswirkungen von verschiedenen Maßnahmen der Wirtschaftsdüngerbehandlung hinsichtlich des Verbleibs der eingesetzten Wirkstoffe abzielen. Bei der überwiegenden Anzahl der vorliegenden Studien lässt sich auch nicht abschätzen, inwieweit die untersuchten Wirkstoffe irreversibel abgebaut wurden, oder Tierarzneimittelrückstände durch Sorption an funktionelle Gruppen der Kolloide und an partikulären (nicht gelösten) Oberflächen der organischen Masse nicht extrahierbar sind. Unbekannt ist auch, inwieweit sich Verschiebungen des pH-Wertes der Wirtschaftsdünger auf Adsorption und nachfolgenden Abbau von Tierarzneimitteln auswirken, ggf. durch Alkalisierung oder Einsäuerung. Es fehlen zudem systematische Kenntnisse zum Abbauverhalten von Wirkstoffen gleicher oder ähnlicher medizinischer Indikation während der Wirtschaftsdüngerlagerung und –behandlung. Solch interdisziplinär angelegten, systematischen Studien könnten Wirkstoffe definieren, die bei einem gegebenen Krankheitsbild aufgrund ihres günstigeren Abbau- und Umweltverhaltens bevorzugt eingesetzt werden sollten.

Hinsichtlich des Verhaltens der Wirkstoffe im Boden besteht ebenfalls erheblicher Forschungsbedarf. Bekannt ist, dass zahlreiche Wirkstoffe im Boden sehr stark an funktionelle Gruppen der Bodenkolloide u.a. durch Komplexbildung adsorbiert werden (z.B. Tetrazykline), einzelne Wirkstoffe mit geringer Adsorptionsneigung werden teilweise rasch mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten und das oberflächennahe Grundwasser ausgewaschen (z.B. Sulfonamide). Die langfristige Bedeutung und das Verhalten von an Bodenkolloide adsorbierten Wirkstoffen für die Umwelt sind weitgehend unbekannt. Unbekannt ist auch die Bedeutung der Wirkstoffkonzentrationen auf das Umweltverhalten, und inwieweit es daher positive Auswirkungen haben könnte, wenn man belastete Wirtschaftsdünger, z.B. im Rahmen eines überbetrieblichen bzw. überregionalen Nährstoffmanagements, von einem Betrieb auf einen anderen verschiebt. Letztendlich geht es um die Fragestellung, ob es sinnvoller ist, belastete Wirtschaftsdünger über eine

größere Fläche zu verteilen, um somit wenn nicht den Gesamtaustrag dann doch die Umweltkonzentrationen in Böden und Wasserkörpern zu reduzieren (und dadurch auch mögliche ökotoxikologische Folgen), oder konzentriert auf einer möglichst geringen Fläche zu verbringen. Weiterhin fehlen detaillierte Erkenntnisse zum Einfluß von unterschiedlichen Tierarzneimittelgehalten auf Abbauverhalten nach der Wirtschaftsdüngerausbringung. Es ist derzeit unbekannt, ob es Unterschiede hinsichtlich Verhalten und Abbau der Wirkstoffe in den Böden gibt, wenn belastete Wirtschaftsdünger (z.B. Festmiste bzw. Feststoffe) in hohen Einzelgaben verabreicht oder auf mehrere kleinere Einzelgaben aufgeteilt werden.

Sowohl zum physikalisch-chemischen wie zum mikrobiellen Abbauverhalten in Böden und entlang der Transportpfade bestehen bedeutende Wissenslücken. Wenngleich erste Untersuchungen den Maßnahmen zur Expositionsminderung und in der Landwirtschaft eine ähnlich bedeutsame Wirkung in Aussicht stellen, wie diese Maßnahmen für Pestiziden haben, steht die genaue Erforschung ihrer Wirkung für Tierarzneimittel noch aus. Weiterhin besteht Forschungsbedarf inwieweit allgemeine Maßnahmen zur Erhaltung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit wie z.B. eine konsequente Humuswirtschaft oder Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Boden Auswirkungen auf Verhalten und Abbau der Wirkstoffe in der Bodenmatrix haben. Diese Fragen stellen sich auch in Bezug auf die langfristige Wirkung von Maßnahmen, in der die Sorption von Tierarzneimitteln an Tonmineralien und organische Masse eine bedeutende Rolle spielt.

Nicht zuletzt gibt es bedeutende Lücken in den Daten, die zum Umweltverhalten von Tierarzneimitteln im Rahmen der Zulassung (Umweltrisikobewertung) erhoben werden. Für die sogenannten „Alt-Arzneimittel“ (Zulassung vor rechtlicher Anforderung einer Umweltrisikobewertung), die z.T. in bedeutenden Mengen vertrieben werden fehlen Informationen zum Verhalten und Effekten in der Umwelt. Die Etablierung eines Umwelt-Monographiesystems für Arzneimittelwirkstoffe wäre eine Möglichkeit, diese Daten zu erheben und u.a. Umweltwissenschaftlern zur Verfügung zu stellen.

10.2 Maßnahmen mit dem größten Potential zur kurz- und langfristigen Minderung der TAM -Exposition der Umwelt

Kurt Möller (Institut für Kulturpflanzenwissenschaften der Universität Hohenheim, Stuttgart)

Stephan Hannappel (HYDOR Consult GmbH, Berlin)

Nach heutigem Kenntnisstand bieten die Maßnahmen, die auf eine Minderung des Stoffeinsatzes in der Tierhaltung abzielen, das größte Potential zur kurz- und langfristigen Reduzierung der Tierarzneimittel-Exposition der Umwelt. Dazu gehören insbesondere in einem umfassenden Sinne Maßnahmen des risikoorientierten präventiven Gesundheitsmanagements und der überbetrieblich koordinierten Teamberatung von Betrieben in den Bereichen Verbesserung von Haltung, Fütterung und Hygiene zur Schaffung eines stabilen und guten Gesundheitsstatus in den Beständen. Diese Maßnahmen haben auch den erheblichen Vorteil, sowohl die Verbreitung von Antibiotika-Resistenzen wie auch die Umweltbelastung durch Tierarzneimittel zu mindern.

Maßnahmen zur Düngeraufbereitung, zur Expositionsminderung und der landwirtschaftlichen Praxis dagegen können die Umweltbelastung durch Tierarzneimittel mindern, leisten aber vermutlich keinen vergleichbaren Beitrag in Hinsicht auf Expositionsminderung und Resistenzenverbreitung. Im Bereich der Wirtschaftsdüngerbehandlung sind Maßnahmen, die zu einer längeren Lagerung der Wirtschaftsdüngemittel führen, sowie die Kompostierung und die anaerobe Vergärung teilweise dazu geeignet, die TAM-Exposition der Umwelt zu verringern. Allerdings sind diese Maßnahmen nur teilweise und nur bei bestimmten Wirkstoffen erfolgsversprechend. Auch Maßnahmen, die zu einer genaueren bzw. einer geringeren Anwendung (auf die Fläche betrachtet) von organischen Wirtschaftsdüngern führen, können die Belastung der

einzelnen Fläche reduzieren, dürften zum Teil aber auf nicht unbeträchtlichen Widerstand in der Landwirtschaft stoßen.

Nach Ausbringung von Wirtschaftsdüngemitteln sind mindestens drei Schutzgüter zu betrachten: der Boden selber, das Grundwasser (durch Auswaschung der Wirkstoffe belastet), sowie Vorfluter/Oberflächengewässer (durch oberirdisch abfließendes Wasser und darin verfrachtete Wirkstoffe belastet). Zur Reduzierung des TAM-Eintrags in Oberflächengewässer/Vorfluter dienen sämtliche Maßnahmen, die auch gegen Phosphorausträge schützen. Dazu gehören die direkte Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern nach der Ausbringung, die Einrichtung von Gewässerrandstreifen sowie die Implementierung sonstiger Erosionsschutzmaßnahmen wie z.B. Erosionsschutzstreifen. Der Schutz des oberflächennahen Grundwassers vor Tierarzneimittel-Einträgen lässt sich ggf. durch reduzierte Verwendung von Wirkstoffen (ohne Substitution durch andere Wirkstoffe) mit geringer Adsorptionsneigung im Boden erreichen (z.B. bestimmte Sulfonamide). Deutlich schwieriger ist die Abschätzung von Maßnahmen zum Schutz des Bodenkörpers selbst. Mindestens spekulativ und bisher nicht ausreichend wissenschaftlich untersucht ist die Wirkung von Maßnahmen wie die Implementierung einer konsequenten Humuswirtschaft auf die Tierarzneimittel-Exposition des Bodenkörpers. Bei den Maßnahmen, die nach der Ausbringung der Wirtschaftsdüngemittel greifen, besteht die Möglichkeit, Synergien zu entfalten mit Maßnahmen zum Schutz von Phosphor- und Nitratausträgen, zum Schutz vor Erosion und von Überschwemmungen, wie auch mit den Agrarumweltmaßnahmen der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik.

Erfolgsversprechende Maßnahmen zur mittel- und langfristigen Reduzierung der TAM-Exposition in die Umwelt sind eine Neubewertung umweltkritischer Wirkstoffe und Förderung von bzw. Ersatz durch umweltfreundliche Substanzen. Evtl. kann in Zukunft die Weiterentwicklung und Implementierung von Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren für Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft auch wichtige Ansätze zur Reduzierung der Wirkstoffexposition der Umwelt leisten. Allerdings sind solche „end of pipe“-Ansätze vermutlich deutlich aufwändiger und kostenintensiver als ein geschicktes Einsatzmanagement auf der Inputseite.

10.2.1 Workshopergebnisse –Priorisierung der Handlungsfelder durch Workshopteilnehmer

Rodrigo Vidaurre (*Ecologic Institut*)

Im Rahmen eines Workshops, in dem ein erster Entwurf dieser Broschüre mit der Fachöffentlichkeit diskutiert wurde (9.-10. März 2016, Berlin), wurden Workshopteilnehmer gebeten, die 8 Handlungsfelder dieser Broschüre zu priorisieren. Mittels einer Mehrfachabstimmung sollten Teilnehmer die Handlungsfelder auswählen, die ihnen als die mit dem größten Potenzial für die Minderung von Tierarzneimitteln in der Umwelt erschienen. Bei der Einschätzung des Potenzials sollten zwei Aspekte mit einfließen:

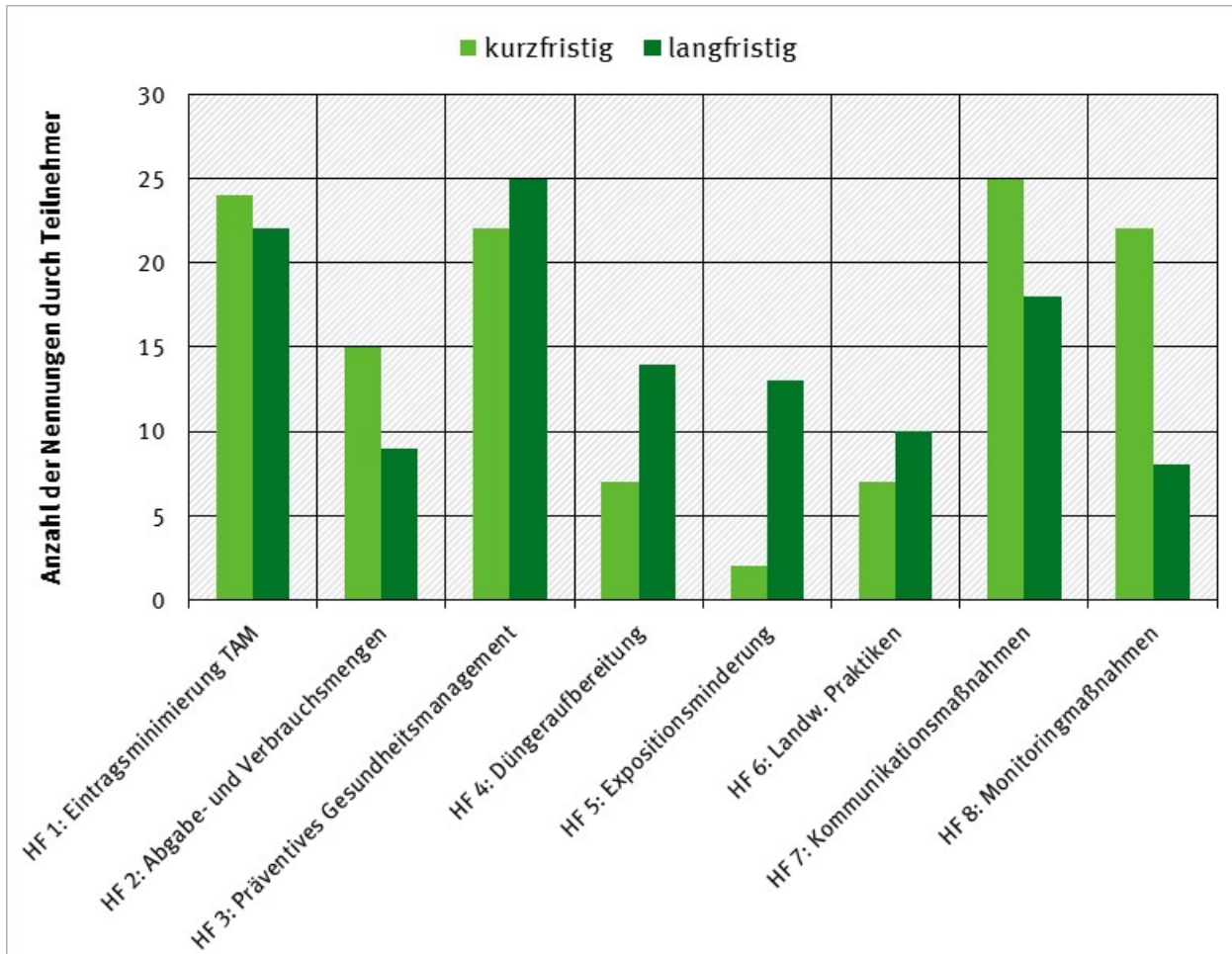
1. Das Wirkungspotential der Maßnahmen des Handlungsfeldes
2. Die Implementierbarkeit und Akzeptanz der Maßnahmen bei den relevanten Akteuren.

Die Befragung wurde für zwei Zeithorizonte durchgeführt:

1. „Kurzfristig“ : Die Implementierung der Maßnahmen erfolgt ab sofort bis in 4 Jahren)
2. „Langfristig“: Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt in der Zukunft ab einem Zeitpunkt in 4 Jahren.

Abbildung 6 fasst die Ergebnisse dieser Abstimmung zusammen.

Abbildung 6: Priorisierung der Handlungsfelder unter Workshopteilnehmern



Quelle: Fachworkshop (9.-10. März 2016, Berlin), 66 angemeldete Teilnehmer,
pro Teilnehmer vier kurz- und vier langfristige Nennungen möglich, Enthaltung möglich

Die Priorisierung der Teilnehmer zeigt deutliche Präferenzen für die ersten drei und die letzten zwei Handlungsfelder. Da die letzten zwei Handlungsfelder an sich keine Tierarzneimittel-Minderungen verursachen (sie bewirken lediglich indirekt eine Minderung, generieren aber das erforderliche Wissen für anzustrebende Verhaltensänderungen von Tierärzten, Tierhaltern und weiteren Akteuren im Umgang mit Tierarzneimitteln), lässt sich dieses Ergebnis als eine Ablehnung von „end of pipe“-Maßnahmen deuten: Die Workshopteilnehmer scheinen diejenigen Maßnahmen vorzuziehen, die von vornherein den Einsatz von Tierarzneimitteln mindern.

In einer zweiten Deutung läge die Präferenz für Maßnahmen „im Stall“ – also Maßnahmen der Handlungsfelder 1 bis 3 – darin begründet, dass sie Wirkung für beide Themenkomplexe von Tierarzneimitteln in der Umwelt (also sowohl für das Problem der Antibiotikaresistenzen wie auch für die Umweltbelastung durch Tierarzneimittel) entfalten können. Dagegen kann man für die Maßnahmen der Handlungsfelder 4 bis 6 vermuten, dass sie eher Relevanz für den Themenkomplex „Umweltbelastung durch Tierarzneimittel“ haben und lediglich einen geringen Beitrag zum Themenkomplex Antibiotikaresistenzen beitragen, da sie erst nach dem Stall ansetzen.

10.3 Synergien zwischen den Handlungsfeldern

Evelyn Lukat, Rodrigo Vidaurre (Ecologic Institut)

Julia Steinhoff-Wagner (FoodNetCenter der Universität Bonn)

Die Nutzung von Synergien hat mittel- und langfristig großes Potenzial zur Reduzierung des Eintrages von Tierarzneimitteln aus der Landwirtschaft in die Umwelt. Auf ihrer Grundlage lässt sich eine abgestimmte Strategie von Gesundheits- und Wirtschaftsdüngermanagement mit möglichst geringer Gefährdung der angrenzenden Ökosysteme entwickeln.

Starke Synergien zwischen den tierspezifischen Handlungsfeldern (Kapitel 2 bis 4) können mit dem Bereich „Vorsorge durch Kommunikation“ (Kapitel 8) erwartet werden. Insbesondere Akzeptanz und Umsetzung von Maßnahmen, die den Tierarzneimiteleinsatz der Landwirte durch Substitution von Tierarzneimitteln (z.B. Maßnahme 2.2) oder präventives Gesundheitsmanagement (Kapitel 4) betreffen, können durch gezielte Information und Weiterbildung gefördert werden.

Informationskampagnen mit Vor-Ort-Beratungen der Landwirte haben für andere Stoffgruppen sehr starke Minderungen ihrer Konzentrationen in der Umwelt erzielen können (z.B. zwischen 45 % - 95 % für Pflanzenschutzmittel), wobei die stetige Unterstützung des Vorhabens seitens der Betroffenen entscheidend ist (Reichenberger et al. 2007).

Synergien sind weiterhin zwischen den Maßnahmen zu erwarten, die den Bereich der Anwendung der tierischen Ausscheidungen als Wirtschaftsdünger umfassen: Düngeraufbereitung, Maßnahmen zur Expositionsminderung und landwirtschaftliche Praktiken. Diese Maßnahmen können Tierarzneimittelgehalte in der Umwelt senken, indem sie den Stoffaustrag in Nachbarökosysteme reduzieren durch Adsorption an organische Substanz im Wirtschaftsdünger oder im Boden (z.B. Maßnahmen 6.3, 6.6, 7.8) oder indem sie einen gesteigerten mikrobiellen Abbau ermöglichen¹⁴ (z.B. Maßnahmen 5.3, 6.3, 7.8). Diejenigen Maßnahmen zur Expositionsminderung und Maßnahmen der landwirtschaftlichen Praxis, die den Eintrag insbesondere in Oberflächengewässer reduzieren, verringern Menge und/oder Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses und können, wenn gemeinsam angewendet, dementsprechend Synergien entfalten, um ihre jeweiligen Effekte zu verstärken (z.B. Maßnahmen 6.2, 7.7, 7.8). Einige landwirtschaftliche Vorgaben, die ggf. durch die novellierte Düngeverordnung in Kraft treten sollen, verlängern Lagerzeiten (Maßnahmen 7.2, 7.4, 7.5, 7.6), die dementsprechend zu Reduktionseffekten bei optimierter Lagerung führen können (Maßnahme 5.2), die allerdings unter Umständen mit negativen Wirkungen auf andere Schutzgüter wie Klimagasemissionen, stärkerer Oberflächenabtrag und N-Verluste einhergehen könnten.

Umweltmonitoring-Maßnahmen zeigen Synergien mit allen Handlungsfeldern. Im Sinne eines „One-Health“-Ansatzes, bei dem Tier, Mensch, und Umwelt in einem Biotop betrachtet werden, kann Umweltmonitoring insbesondere die Erfolge bei der Senkung des Tierarzneimiteleinsatzes illustrieren bzw. die Schwerpunkte des Tierarzneimiteleinsatzes aufdecken. Umweltmonitoring-Maßnahmen können in den Handlungsfeldern, die den Umgang mit Wirtschaftsdüngern betreffen (Düngeraufbereitung, Maßnahmen zur Expositionsminderung und landwirtschaftliche Praxis) die Notwendigkeit des Einsatzes bestimmter Maßnahmen einschätzen. Hier sind vor allem das Monitoring von Tierarzneimittelgehalten in Wirtschaftsdüngern (Maßnahme 9.3), in Sickerwasser, Grundwasser und Oberflächenwasser (Maßnahmen 9.4 und 9.6) und die Anwendung von Maßnahmen zur Düngeraufbereitung (s. Kapitel 5) und zur Expositionsminderung (s. Kapitel 6) zu

¹⁴ Wenngleich die Wissenschaft noch keine hundertprozentige Klarheit in Hinsicht auf die Sorptions- und Abbauprozesse liefern konnte, und somit zur Frage eines erhöhten mikrobiellen Abbau in z.B. Ackerrandstreifen, scheinen die Zwischenergebnisse recht eindeutig einen erhöhten Abbau in diesen Pufferzonen zu bestätigen. Vgl. insbesondere die Forschung dazu an der University of Missouri und am Westminster College, Missouri (z.B. Unger et al. 2012, 2013).

nennen. Umweltmonitoring-ergebnisse können zum einen bewusstseinsbildend eingesetzt werden, aber auch die Erfolge in der Beratung von Tierhaltern und Tierärzten dokumentieren.

In Betrachtung der Maßnahmen innerhalb der einzelnen Handlungsfelder können ebenso viele Synergien erwartet werden. Insbesondere wenn mehrere der beschriebenen Maßnahmen umgesetzt werden, kann ein erhöhtes Reduktionspotenzial erzielt werden.

Tabelle 8 beinhaltet eine Gegenüberstellung der acht Handlungsfelder dieser Broschüre und zeigt, wo die größten Synergien zu erwarten sind. Tabelle 13 (im Anhang) tut das Gleiche für alle beschriebenen Maßnahmen dieser Fachbroschüre. Dabei werden die Synergien der Maßnahmen in Bezug auf die Verstärkung ihrer Wirkung zur Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt betrachtet. Maßnahmen, die beispielsweise den Eintrag von Tierarzneimitteln aus Wirtschaftsdüngern in Böden oder Gewässer reduzieren, zeigen einen geringeren Effekt (in absoluten Zahlen), wenn sie mit Maßnahmen kombiniert sind, die den Einsatz von Tierarzneimitteln in erster Linie reduzieren. Das bedeutet jedoch nicht, dass es sich dabei um einen Konflikt dieser Maßnahmen handelt. Dementsprechend würde die Umsetzung aller Maßnahmen der Broschüre die höchste Minimierung von Tierarzneimitteln in der Umwelt bedeuten.

Tabelle 8: Hauptsynergien zwischen den Handlungsfeldern. (Die Nummern bilden die Kapitelnummern ab. Siehe auch Tabelle 13 für Synergien zwischen den einzelnen Maßnahmen.)

HANDLUNGSFELDER	2. Eintragsminimierung von Tierarzneimitteln	3. Abgabe- u. Verbrauchsmengen u. Subst.-potentiale	4. Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit	5. Düngeraufbereitung	6. Expositionsminimierung	7. Landwirtschaftliche Praktiken	8. Vorsorge durch Kommunikation	9. Umweltmonitoring
2. Eintragsminimierung von Tierarzneimitteln	-							
3. Abgabe- u. Verbrauchsmengen u. Subst.-potentiale	X	-						
4. Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit	X		-					
5. Düngeraufbereitung				-				
6. Expositionsminimierung				X	-			
7. Landwirtschaftliche Praktiken				X	X	-		
8. Vorsorge durch Kommunikation	X	X	X				-	
9. Umweltmonitoring	X	X	X	X	X	X	X	-

10.4 Wechselwirkungen mit anderen Politikbereichen

Evelyn Lukat, Rodrigo Vidaurre (Ecologic Institut)

Julia Steinhoff-Wagner (FoodNetCenter der Universität Bonn)

10.4.1 Synergien mit der Gemeinsamen Agrarpolitik

Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU ist das einzige Politikinstrument bislang, welches die Umsetzung einiger Teilaspekte der guten fachlichen Praxis zur Bedingung für den Bezug von Subventionen macht. Zum einen ist hier die Cross-Compliance-Regelung zu nennen. Diese definiert sieben Standards für die Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (GLÖZ), deren Einhaltung für die Betriebe verpflichtend ist, von denen fünf teilweise in den Definitionen der guten fachlichen Praxis des deutschen Rechts enthalten sind:

- ▶ GLÖZ 1: Schaffung von Pufferzonen entlang von Wasserläufen,
- ▶ GLÖZ 4: Mindestanforderungen an die Bodenbedeckung,
- ▶ GLÖZ 5: Mindestpraktiken der Bodenbearbeitung entsprechend den standortspezifischen Bedingungen zur Begrenzung der Bodenerosion,
- ▶ GLÖZ 6: Erhaltung des Anteils der organischen Substanz im Boden mittels geeigneter Verfahren [...],
- ▶ GLÖZ 7: Keine Beseitigung von Landschaftselementen [...]

Die aufgelisteten GLÖZ zum Schutz des Bodens weisen viele Parallelen mit den bodenbezogenen Maßnahmen im Kapitel zu landwirtschaftlichen Praktiken (Kapitel 7). Weitere GLÖZ, wie z.B. die Schaffung von Pufferzonen entlang von Wasserläufen, decken sich gut mit Maßnahmen zur Expositionsminderung (Kapitel 6). Eine strikte Umsetzung der GAP würde somit erhebliche Potentiale für die Minderung von Tierarzneimitteln, wie auch von weiteren Schadstoffen und Nährstoffen landwirtschaftlicher Provenienz, aufweisen. Derzeit findet eine Kontrolle der Umsetzung bei mindestens 1 % der Betriebe statt (StMELF, 2015), weshalb die derzeitige Wirkung der GLÖZ nicht eingeschätzt werden kann.

Seit 2015 ist ein weiteres Element der Gemeinsamen Agrarpolitik für die Umsetzung von ökologischen Zielen in Kraft getreten, das sogenannte Greening. Damit werden Direktzahlungen (Subventionen, die die landwirtschaftlichen Betriebe erhalten) an die Erfüllung bestimmter Umweltleistungen gebunden. Diese beinhalten, Diversifizierung der Ackerkulturen zu einem gewissen Anteil umzusetzen, ökologische Vorrangflächen bereitzustellen und Dauergrünland zu erhalten. Die landwirtschaftliche Praxis in Deutschland erfüllt viele der im Greening dargelegten Grundsätze bereits, weshalb von einer zusätzlichen Wirkung derzeit nicht ausgegangen werden sollte. Das Ziel des Greenings ist es, die umweltpolitischen Ziele der EU in Bezug auf den Klimawandel und den Biodiversitätsverlust zu erreichen.

Anbaudiversifizierung:

Die GAP-Auflagen zur Anbaudiversifizierung erfordern den Anbau von mindestens zwei bzw. drei Kulturen (bei 10 – 30 ha bzw. bei mehr als 30 ha Ackerland), wobei die Hauptkultur maximal 75 % der Fläche einnehmen darf (BMEL, 2015b). Im Sinne der guten fachlichen Praxis der Bodennutzung könnte die Anbaudiversifizierung als Fruchtfolge verstanden werden, um die mikrobiologische Aktivität des Bodens zu fördern; es wird angenommen, dass dies zu einem erhöhten Abbau von Tierarzneimitteln führt. Allerdings fordert die GAP keine Diversifizierung im Laufe der Zeit, und damit keinen Fruchtwechsel auf den Schlägen des Betriebs. Kritiker der Novellierung formulieren darüber hinaus, dass für die Diversifizierung mindestens vier Kulturen auf mindestens 5 % der

Ackerfläche anzubauen sind sowie ein Anteil von 5 % Leguminosen in die Fruchtfolge zu integrieren ist (Oppermann et al., 2012). Der Synergieeffekt für eine mögliche erhöhte bodenmikrobiologische Aktivität durch die Fruchtfolge kann nicht quantifiziert werden, da auch der Umsetzungserfolg bisher nicht bekannt ist.

Ökologische Vorrangflächen:

Als Ergebnis der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik im Jahr 2013 müssen 5 % der landwirtschaftlichen Flächen als Ökologische Vorrangflächen (ÖVF) bereitgestellt werden, die der Förderung der Biodiversität dienen sollen. (Ab dem Jahr 2017, nach dem „mid-term review“, könnte diese Zahl auf 7 % angehoben werden.) Diese Flächen können sowohl innerhalb des Feldes (Pufferstreifen, Brachflächen) wie auch an seinen Rändern (Ackerrandstreifen, Hecken) disponiert sein (Brühl et al., 2015). Für die Lebensraumeignung dieser Flächen ist nicht nur die Flächenmenge von Bedeutung, sondern ihre Verteilung auf der Landschaft, die verschiedene Habitattypen abdeckt und den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Strukturen ermöglicht.

Synergien aus der Perspektive der Tierarzneimittel gibt es in zweierlei Hinsicht. Erstens sollen für ÖVF Verpflichtungen gelten, die direkt einen Tierarzneimittleintrag in die Umwelt mindern, wie z.B. der reduzierte (oder kein) Einsatz von Düngemitteln auf diesen Flächen. Darüber hinaus können einige dieser Strukturen so disponiert werden, dass sie gleichzeitig sowohl der Förderung der Biodiversität dienen als auch den Abbau von Nähr- und Schadstoffen aus der Landwirtschaft fördern. Eine Anlage der Flächen z.B. entlang von Wasserläufen, Gräben und Hecken kann sich günstig sowohl für die Artenvielfalt wie auch auf Nährstoffe, Gehalte von Pflanzenschutzmitteln und Tierarzneimitteln im Oberflächenabfluss (und unter manchen Bedingungen auch im Grundwasser) auswirken. Eine parzellenspezifische Planung von ÖVF, die diese Potentiale berücksichtigt, kann diese Flächen zielgerichtet anlegen, sodass mehrere Umweltschutzgüter gleichzeitig davon profitieren können.

Allerdings wurden Anforderungen von Akteuren des Umwelt und Naturschutzes an die ÖVF in den Verhandlungen der GAP-Reform abgeschwächt (UBA, 2014; Oppermann et al., 2012), mit dem Ergebnis, dass Zwischenfrucht- und Leguminosenanbau als ÖVF anerkannt wird. Diese Flächen dürfen sowohl mit Pflanzenschutzmitteln behandelt als auch gedüngt werden. Es bleibt abzuwarten, wie die Umsetzung auf den landwirtschaftlichen Flächen tatsächlich stattfindet. Wenn auf den Großteil der ÖVF weiterhin gedüngt wird, wären aus Sicht des Tierarzneimittleintrages in die Umwelt keine entscheidenden Verbesserungen erreicht worden.

Darüber hinaus können weitere erosionsmindernde Verpflichtungen auf den ÖVF, wie z.B. kein Stoppelumbruch vor einem gewissen Datum (um die Stoppeldecke als Schutz vor Erosion und Nährstoffauswaschung zu behalten) (Oppermann et al., 2012), einen verringerten Abtransport von Phosphor und partikelgebundenen Tierarznei- und Pflanzenschutzmitteln als Folge haben.

10.4.2 Synergien mit Klimaschutzaktivitäten in der Landwirtschaft

Der Beitrag der deutschen Landwirtschaft zu den deutschen Treibhausgasemissionen wird zwischen 7 % (Lünenbürger, 2013) und 11 % angegeben (Naumann & Frelih-Larsen, 2009).¹⁵ Hauptquellen für Treibhausgase in der Landwirtschaft sind die Stickstoffdüngung mit mineralischem Dünger, die Tierhaltung sowie die dadurch entstehenden Wirtschaftsdünger, die bei Lagerung und Ausbringung

¹⁵ Bei Einbeziehung von Emissionen aus Vorketten der landwirtschaftlichen Produktion (aus der Heizung von Ställen oder der Produktion von Düngemitteln z.B.) rechnet Lünenbürger (2013), dass die Landwirtschaft für rund 12,9 % der deutschen Treibhausgase verantwortlich ist. Diese Emissionen werden bei Naumann & Frelih-Larsen (2009) nicht beziffert.

Treibhausgase emittieren. Bei der Herstellung mineralischer Dünger werden große Mengen Energie aufgewendet, welche zu vermehrten Kohlenstoffdioxidemissionen führen. Wenn Flächen mit mineralischem aber auch mit Wirtschaftsdünger gedüngt werden, können unter bestimmten Standortbedingungen Lachgasemissionen auftreten, welche eine starke Treibhauswirkung haben (Flessa et al., 2008). Die Autoren nennen außerdem Landnutzungsänderungen, wie die Umwandlung von Grünland zu Ackerland sowie die Drainierung von Mooren als weitere wichtige Quellen von Treibhausgasen.

Tabelle 9: Maßnahmen zum Klimaschutz in der Landwirtschaft und ihre Auswirkungen auf die Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt

Treibhausgas Quelle	Klimaschutzmaßnahmen	Synergien mit der Minderung von Tierarzneimitteln
Tierhaltung	Bedarfsgerechte Fütterung (reduzierte N Ausscheidungen, reduzierte stoffwechselbedingte Erkrankungen)	Reduzierter Tierarzneimittelleinsatz
Management von Wirtschaftsdüngern	Anaerobe Vergärung in Biogasanlagen	Die Vergärung begünstigt den Abbau mancher, vor allem gut wasserlöslicher Tierarzneimittel (Kapitel 5.4)
Stickstoffdüngung	Bedarfsgerechte Düngung (mit geringeren Stickstoffüberschüssen)	Durch die angepasste und wenig überschüssige Düngung mit Tierarzneimitteln angereichertem Wirtschaftsdünger werden weniger Substanzen in die Umwelt gebracht (s. Kapitel 7.2)
	Unmittelbare Einarbeitung von Wirtschaftsdünger, bodennahe Ausbringung von Dünger mit Geräten (Verringerung der Ammoniakemissionen und dadurch indirekter Lachgasemissionen)	Die Einarbeitung vermeidet den Oberflächenabtrag und die Belastung der Vorfluter
Bodenbearbeitung und Landnutzungsänderung	Kohlenstoff-Fixierung in landwirtschaftlich genutzten Böden, reduzierte Bodenbearbeitung, Erhöhung der organischen Substanz und Stickstoffbindung durch Zwischenfrüchte, Management von Ernterückständen (Speicherung von Kohlenstoff in Form von organischer Substanz im Boden)	Die Maßnahmen zielen zum einen auf eine Erhöhung der organischen Substanz, an welche Tierarzneimittel adsorbieren und immobilisiert werden können (siehe Kapitel 7.8). Zum anderen stabilisieren sie die Bodenstruktur, welches zu verringerter Erosion und dadurch oberflächlicher Abschwemmung von Tierarzneimitteln, die an Bodenpartikel adsorbiert sind, führt (siehe Kapitel 7.9).

Quelle der Maßnahmen: Naumann & Frelih-Larsen 2009.

Die Klimaschutzaktivitäten in der Landwirtschaft lassen sich demnach anhand ihrer Quellen ableiten (Tabelle 9). Die Tabelle verdeutlicht das Potential, welches die Maßnahmen des Klimaschutzes in der Landwirtschaft für die Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt bergen.

10.4.3 Synergien mit Initiativen der Privatwirtschaft und Tierschutzorganisationen

Der Wunsch nach Lebensmitteln tierischer Herkunft, bei deren Produktion Tierschutzaspekte berücksichtigt werden, ist in der breiten Öffentlichkeit generell sehr ausgeprägt. Dennoch ist dieses Bild oftmals geprägt von einer sehr romantischen Vorstellung der Natur („heile Welt“, Kunz, 2015), die mit einem Blick auf die Fakten schnell verworfen werden muss. Tierhalter sind verpflichtet und auch aus Eigeninteresse motiviert, sich um die Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere zu sorgen. Dabei stehen sie häufig vor Zielkonflikten, die sich aus Regeln, Verordnungen und Zielen ergeben (Kunz, 2015) und gehen gezwungenermaßen Kompromisse ein. Bei der Fülle an Vorschriften, Empfehlungen und Maßnahmen sind einige Details oftmals selbst den beteiligten Akteuren unbekannt. Des Öfteren lenken dann erst Skandale und der öffentliche Druck den Fokus auf bestimmte Problematiken. Wesentliche Gründe für das Übersehen von bestimmten Missständen oder das Hinnehmen von jahrzehntelang nicht kritisch hinterfragten Kompromissen sind auch die zeitliche und arbeitstechnische Belastung des Personals auf landwirtschaftlichen Betrieben heutzutage. Wachsende Bestandsgrößen gehen fast immer zu Lasten einer intensiven Tierbeobachtung. Die von der Privatwirtschaft und Tierschutzorganisationen ins Leben gerufenen Initiativen vermarkten Fleisch aus Zulieferketten zum Lebensmitteleinzelhandel, die eine Vielzahl von Tierwohl-Kriterien mit einem Label ausloben. Die Umsetzung dieser Kriterien ist sowohl im Sinne des Tierschutzes als auch der Tierarzneimittel-Minimierung sehr positiv zu bewerten. Durch eine höhere Wertschätzung der Produkte könnten die ökonomischen Einbußen oder zusätzliche Investitionen (z.B. für eine geringere Besatzdichte oder einen zusätzlich eingestellten Mitarbeiter) teilweise ausgeglichen werden.

Aktuelle Forschungsarbeiten aus dem Bereich zeigen jedoch, dass speziell die Vermarktung von Fleisch aus diesen Initiativen derzeit noch nicht optimal gestaltet ist. Die Verbraucher kennen oftmals die Kriterien hinter einem Label nicht genau oder legen falsche Annahmen zu Grunde. In der Folge sind sie oftmals nicht bereit, die deutlich höheren Kosten zu tragen. Sind sie dann jedoch über die Kriterien und Hintergründe informiert, steigt auch ihre Zahlungsbereitschaft an (Schulze-Ehlers und Puwins, 2015). Speziell der ökonomische Aspekt sollte bei der Diskussion um Tierschutz- und Tierarzneimittel-Minderungsmaßnahmen nicht vernachlässigt werden. Sowohl Erzeuger tierischer Produkte als auch Tierärzte müssen mit ihrer Arbeit ihren Lebensunterhalt verdienen können.

10.4.4 Potentiell negative Wechselwirkungen mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz

Seit der Etablierung von Subventionen für die Biogasproduktion im Rahmen des deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetzes hat sich die installierte elektrische Leistung zwischen 2005 und 2011 fast verdreifacht (Murek, 2013). Ein erheblicher Anteil an dieser Entwicklung ist der Förderung von nachwachsenden Rohstoffen zuzuschreiben (3N Kompetenzzentrum, 2014). Damit wurde vor allem der Wandel von Grünland zu Mais als Rohstoff für die Energiegewinnung gefördert (Nitsch et al., 2009), da die Erzeugung von Biogas aus Mais höhere Einkommen für die Landwirte erzeugt. Durch die Novellen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in 2012 und 2014 wurde auf diesen Trend reagiert und der Zubau von Großanlagen auf Basis von Feldfrüchten quasi gestoppt (Mutsch, 2014). Dennoch gilt ein Bestandsschutz für die unter dem EEG 2009 und 2012 geförderten Anlagen, welche weiterhin für die Erzeugung von Strom aus Feldfrüchten subventioniert werden. Eine stärkere Abnahme des Grünlands für Ackerland ist damit nicht mehr zu erwarten, jedoch wird die derzeitige Situation mit ihren Folgen für mindestens die nächsten 10 Jahre bestehen bleiben.

Mit der Umwandlung von Grünland zu Ackerland geht eine verringerte organische Bodensubstanz einher. Auch bei bereits umgebrochenen Flächen schreitet der mikrobielle Abbau der organischen Bodensubstanz fort und kann so zu einem Verlust von 25 bis 35 % führen (Flessa et al. 2008). Damit könnte sich das Potential des Bodens weiter verringern, Tierarzneimittel zurückzuhalten. Außerdem geht die Bodenbedeckung in Perioden des Jahres verloren, was Erosion fördert und damit die Abschwemmung von Tierarzneimitteln in Oberflächengewässer begünstigen kann. Durch den stark gestiegenen Maisanbau, welcher durch die Subventionen des Gesetzes gefördert wird, ist auch die Düngung stark gestiegen. Da bei Maisanbau häufig über den Nährstoffbedarf hinaus gedüngt wird (SRU, 2015), könnte dies zur Folge haben, dass im Vergleich mit früher erhöhte Mengen an tierarzneimittelhaltiger Gülle und tierarzneimittelhaltigen Gärresten auf den Feldern verbracht werden, welches zu höheren Konzentrationen von Tierarzneimitteln in Boden, Grund- und Oberflächenwasser führen könnte.

11 Glossar

7-Tage-Regelung: Die 7-Tage-Regelung besagt, dass systemisch wirksame TAM mit antimikrobieller Wirkung zur Behandlung von Lebensmittel liefernden Tieren an den Tierhalter in einer Menge abgegeben werden dürfen, die maximal für sieben Tage ausreicht.

Ackerrandstreifen: Randbereich an Äckern, der ohne den Einsatz von Herbiziden und Pflanzenschutzmitteln bewirtschaftet wird.

Adsorption (adsorbieren): Anlagerung von Stoffen an die Oberfläche eines Feststoffes. Bei der Adsorption findet keine chemische Reaktion statt. Die Bindung erfolgt über physikalische Wechselwirkungen.

Antibiogramm: Labortest zur Bestimmung der Empfindlichkeit bzw. Resistenz von mikrobiellen Krankheitserregern gegenüber Antibiotika.

Attenuierter Lebendimpfstoff: Impfstoff mit abgeschwächten, lebenden Erregern (Viren oder Bakterien).

Ausputzer: Haltung eines Deckbullens in der Herde, der die Kühe, die bei der in der Regel künstlichen Besamung nicht trächtig geworden sind, im Natursprung erneut besamt.

Biotop: Räumliches Vorkommen einer natürlichen Lebensgemeinschaft bestehend aus Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen.

Biozid: Substanz, „die dazu bestimmt ist, auf andere Art als durch bloße physikalische oder mechanische Einwirkung Schadorganismen zu zerstören, abzuschrecken, unschädlich zu machen, ihre Wirkung zu verhindern oder sie in anderer Weise zu bekämpfen“ (Biozid-Verordnung (EU) Nr. 528/2012).

Chelat (auch Chelatkomplexe): Chelat steht für sog. Komplexverbindungen, bei denen ein Ligand mit mehr als einem freien Elektronenpaar mindestens zwei Bindungsstellen eines Zentralatoms einnimmt. Der Ligand heißt in diesem Fall Chelator. Das Zentralatom besteht meistens aus einem positiv geladenen Ion (z.B. Ca^{2+} , Mg^{2+}).

Cross-Compliance: Die Bindung bestimmter EU-Agrarzahlungen, der Direktzahlungen, an Verpflichtungen aus den Bereichen Umweltschutz, Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze sowie Tierschutz. Die Regelungen umfassen 1. die sogenannten „Grundanforderungen an die Betriebsführung“, welche die Einhaltung der Anforderungen anderer, relevanter EU Richtlinien umfasst, 2. die Standards zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in „gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand“ (kurz GLÖZ) (siehe Kapitel 10.4.1) und 3. Regelungen zur Erhaltung von Dauergrünland.

Direktzahlungen: Ein Kernelement der EU-Agrarförderung, mit dem landwirtschaftliche Betriebe in Form einer von der Produktion unabhängigen Zahlung unterstützt werden. Zum einen werden mit den Zahlungen Schwankungen der Agrarpreise ausgeglichen, zum anderen werden die Landwirte für ihre gesellschaftlichen Leistungen entlohnt (u.a. Pflege und Erhalt wertvoller Kulturlandschaften, natürliche Ressourcen, Tier- und Umweltschutz). Sie sind an die Einhaltung von Regelungen wie z.B. die des Greenings und Cross-Compliance gebunden.

Eintragsminderungsmaßnahme: Maßnahme, die auf die Eintragspfade von Tierarzneimitteln wirkt und die verursacht, dass Tierarzneimittel in geringeren Mengen austreten bzw. abtransportiert werden, oder dass ihre Verlagerung verlangsamt wird bzw. unter Bedingungen geschieht, die Abbau, Sorption und/oder Verdünnung begünstigen.

Ekto- und Endoparasiten: Parasiten, die auf den äußeren Oberflächen bzw. im Inneren (z.B. Organe) ihres Wirtes leben.

Endemisch: regelmäßiges Vorkommen einer Infektionskrankheit bei Menschen oder Tieren nur in einem bestimmten Gebiet (Sommer 1991).

„End-of-pipe“-Maßnahme: (von engl. end of pipe: am Ende der Röhre): nachgeschaltete Maßnahmen, die die Umweltbelastung verringern ohne den Produktionsprozess selber zu verändern.

Enzootisch: ständiges oder sich häufig wiederholendes Auftreten einer Infektionskrankheit in bestimmten Gegenden, Beständen oder Orten.

Erregerreservoir: ökologische Nische, in der sich Krankheitserreger sammeln, vermehren und ausbreiten können.

ESBL-E (Extended-Spectrum Beta-Lactamasen produzierende Enterobacteriaceae): sind eine Gruppe resistenter Darmbakterien, von denen vor allem krankheitsauslösende Stämme (*Escherichia coli*) sowohl beim Menschen z.B. im Zuge der EHEC-Infektionen als auf landwirtschaftlichen Betrieben Bedeutung erlangt haben. β -Laktamasen sind bakterielle Enzyme, die β -Laktam-Antibiotika hydrolysieren und damit unwirksam machen (Pfeifer et al. 2016).

EU-Nitratrichtlinie: Gesetzgebung der EU (Richtlinie 91/676/EWG), welche Vorgaben für die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln macht.

Feldstreifen: Beidseitig von Acker umgebene Brachestreifen auf Ackerflächen, die i.d.R. mit Wildkräutermischungen eingesät werden. Ihre Anlage wird d.ö. durch finanzielle Anreize gefördert, da sie die Artenvielfalt unterstützen.

Funktionelle Gruppe: Atomgruppen in organischen Verbindungen, die das Reaktionsverhalten der sie tragenden Verbindungen maßgeblich bestimmen, z.B. Carbonsäuren (R-COOH), Thiocarbonsäuren (R-CSOH), Sulfonsäuren (R-SO₃H), Alkohole (R-OH), Amine (R-NH₂), etc. Die funktionellen Gruppen werden durch Erhöhung des pH-Wertes in zunehmendem Maße, abhängig vom jeweiligen pK_a-Wert, deprotoniert, es steigt die Neigung zur Anlagerung an Salze oder in Verbindung mit mehrwertigen Kationen an andere funktionelle Gruppen.

Futterganglüftung: Die Zuluft strömt je nach Luftdurchsatz und Gangquerschnitt entweder bis ans Ende des Futterganges und erst dann in den Tierbereich oder direkt über die Buchtentrennwand in den Tierbereich (Mösenbacher-Molterer et al. 2014).

Gewässerrandstreifen: Streifen entlang eines Gewässers, auf dem keine Ackerkultur angebaut wird und der von Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz ausgenommen ist. Ihre Anlage wird durch finanzielle Anreize politisch gefördert, da sie ein aktives Element des Boden- und Gewässerschutzes sind.

Greening: Umfasst verpflichtende Auflagen für alle Landwirte, die Direktzahlungen beantragen. Damit sind 30 % der Direktzahlungen an konkrete, zusätzliche Umweltleistungen geknüpft. Diese Umweltleistungen umfassen den Erhalt von Dauergrünlandflächen (wie Wiesen und Weiden), eine verstärkte Anbaudiversifizierung (größere Vielfalt bei der Auswahl der angebauten Feldfrüchte) sowie die Bereitstellung sogenannter „ökologischer Vorrangflächen“ auf Ackerland. Siehe auch Kapitel 10.4.1.

Großvieheinheit: Äquivalent für das Lebendgewicht eines Rindes (etwa 500 kg).

Grundwasser: unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird (DIN 4049).

Gute fachliche Praxis: „Die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource“ (§ 17 Abs. 2 Satz 1, BBodSchG). Diese wird durch verschiedene Grundsätze definiert. Siehe dazu Kapitel 7.1.

Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand (GLÖZ): Standards für die Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand, welche durch die Gemeinsame Agrarpolitik definiert sind (siehe Kapitel 10.4.1).

Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC): Verfahren, mit dem man nicht nur Substanzen trennt, sondern diese auch über Standards identifizieren und quantifizieren (die genaue Konzentration bestimmen) kann. Im Unterschied zur Gaschromatographie, die eine sehr gute Trennmethode für verdampfbare Stoffe ist, können mittels HPLC auch nicht flüchtige Substanzen analysiert werden. Die HPLC kann auch präparativ genutzt werden.

Humus: Die Gesamtheit der toten organischen Substanz im Boden. Wichtig für die Wechselwirkungen mit Tierarzneimitteln im Boden sind die Huminstoffe, welche komplexe Strukturen verschiedener, natürlich vorkommender Säuren sind.

Infektionsdruck: Beschreibt die Infektionsgefährdung für potentiell empfängliche Organismen (Anzahl der Erreger im unmittelbaren Umfeld).

Kokzidiostatika: antibiotisch wirksame Substanzen, die in erster Linie zur Verhütung und Behandlung der Kokzidiose bei Geflügel verwendet werden.

Leguminosen: Pflanzen, die durch die Symbiose mit sogenannten Knöllchenbakterien in der Lage sind, Luftstickstoff verfügbar zu machen. Bekannte Leguminosen sind alle Hülsenfrüchte sowie Klee und Luzerne.

Lysimeter: Gerät zur Ermittlung von Bodenwasserhaushaltsgrößen (Versickerungsrate, Verdunstung) und zur Beprobung von Bodensickerwasser, um dessen Quantität und Qualität zu bestimmen. In der Umweltforschung und Landwirtschaft werden Lysimeter zur Erfassung von Wechselwirkungen bzw. Stofftransporten zwischen der Atmosphäre, den Pflanzen, dem Boden, der Tierwelt und dem Grundwasser verwendet.

Metaphylaxe: bezeichnet eine Behandlung von noch nicht klinisch erkrankten Tieren auf Basis eines begründeten Verdachts der bereits erfolgten Ansteckung, wie nach engem Kontakt zu akut erkrankten Tieren zur schnellstmöglichen Verhinderung einer weiteren Ausbreitung.

Milchaustauscher: Muttermilchersatz für landwirtschaftliche Jungtiere nach der Biestmilchversorgung bis zur Aufnahme von festem Futter. Milchaustauscher werden aus dem Futtermittelhandel als Pulver bezogen und auf dem Betrieb mit Wasser direkt vor der Fütterung angemischt.

MRSA (Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus): Relativ bekannter resistenter Keim, der sowohl in Krankenhäusern, als auch in landwirtschaftlichen Tierhaltungen gehäuft auftritt.

Nährstoffüberhang: bezeichnet die Menge an Nährstoffen, die über der durch die Düngeverordnung festgesetzten Höchstmenge auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht wurde.

Nicht extrahierbar: Zur Bestimmung von Elementen und Verbindungen in Wirtschaftsdüngern müssen diese in geeigneter Weise vor der eigentlichen Messung mit einem Extraktionsmittel herausgelöst werden, bzw. in Lösung gebracht werden. Dies gelingt häufig nur teilweise, der nicht herausgelöste Rest stellt ggf. die (mit der entsprechenden Methode) nicht extrahierbare Fraktion dar.

Organische Bodensubstanz: Umfasst neben dem Humus auch die lebende organische Substanz (Mikroorganismen, Nematoden, Wurzeln etc.) des Bodens.

pKa: Stoffkonstante die darüber Auskunft gibt, bei welchem pH-Wert ein Stoff in einer Gleichgewichtsreaktion mit Wasser unter Protolyse zu 50 % dissoziiert, gemäß folgender Gleichung: $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$. Je niedriger der Wert, desto stärker dissoziiert eine Verbindung und desto stärker die Säurewirkung.

Plattformchemikalien: Grundchemikalien auf Basis nachwachsender Rohstoffe, z.B. organische Säuren. Grundchemikalien bilden die Rohstoffe für zahlreiche Massenprodukte (z.B. Kunststoffe, Farbstoffe, Klebstoffe, Anstrichmittel, Konservierungsmittel und Feinchemikalien).

Porendecke Prinzip: Verdrängerlüftung mit diffus- und zugluftfrei einströmender Frischluft; über 50 % der Abteildecke perforiert bzw. luftdurchlässig (Mösenbacher-Molterer et al. 2014).

Rein-Raus-Verfahren: Das Rein-Raus-Verfahren beschreibt im Gegensatz zur kontinuierlichen Belegung der Ställe einen Produktionsablauf, bei dem die Tiere so in Gruppen organisiert werden, dass geschlossene Abteile (Stallräume) geräumt, gereinigt und desinfiziert werden können, bevor eine neue Gruppe eingestallt wird.

Risikominderungsmaßnahme: Maßnahme, die infolge der Umweltrisikobewertung von Tierarzneimitteln als Auflagen erstellt werden kann. Wenn Umweltrisiken bei der zu erwartenden Anwendung nicht ausgeschlossen werden können, sind Risikominderungsmaßnahmen zu formulieren, die in den Produktinformationen kommuniziert werden.

Saugsondenanlage: zur Gewinnung von Sickerwasserproben, zumeist mit Saugkerzen, in der ungesättigten Zone

Schleppschuh- und Schleppschlauchapplikator: Applikatoren für Wirtschaftsdünger, die diesen nah an der Bodenoberfläche ausbringen.

Schwarzbrache: Gepflügter Boden, der ohne Pflanzendecke oder Erntereste überwintert.

Selektive versus strategische Verfahren: Von selektiver Entwurmung bzw. selektivem Trockenstellen spricht man, wenn bestimmten Tierarzneimittelbehandlungen selektiv nach einer Status quo-Analyse gezielt eingesetzt werden. Im Gegensatz bezeichnen strategische Verfahren den prophylaktischen bzw. metaphylaktischen Einsatz im Zuge wiederkehrender Produktionsabläufe oder Zeitpunkte.

Sickerwasser: unterirdisches Wasser, das sich unter Einwirkung der Schwerkraft abwärts bewegt.

Sperrfrist: Zeiten mit absolutem Ausbringungsverbot für Stickstoffdünger auf Ackerflächen

Stillbrünstigkeit: stille Brunst mit undeutlichen Brunstzeichen bis hin zur völligen Brunstlosigkeit

Synchronisation: Verfahren in der Sauenhaltung, bei dem über bestimmte Managementtechniken oder durch den Einsatz von Sexualhormonen der Reproduktionszyklus mehrerer Tiere zeitlich parallel organisiert wird.

Technopathien: sind körperliche Schäden, die durch die Haltung hervorgerufen werden.

Transformationsprodukt: entstehen in der Umwelt bzw. in den Ausscheidungsprodukten der Zielorganismen, z.B. der Gülle. Viehbesatzdichte Maß für die räumliche Dichte des Flächenbesatzes mit Nutztier-haltungen, ausgedrückt in Großvieheinheiten je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche.

Trockenstellen: Kühe werden während ihrer Milchproduktion normalerweise erneut besamt, um nach der Geburt eines Kalbes einen weiteren Laktationszyklus sicherzustellen. Einige Wochen vor der Geburt des (mindestens zweiten) Kalbes wird der Milchentzug eingestellt. Dieser beim Menschen als Abstillen bezeichneter Vorgang heißt Trockenstellen.

Untersaat: Pflanzen, die aus Erosionsschutzgründen, Gründen des Gewässerschutzes oder zur Stickstofffixierung angepflanzt werden. Diese werden unter der Hauptkultur gesät.

Wartezeiten: Mit Wartezeiten wird die Zeit nach der Gabe eines Tierarzneimittels bezeichnet, in der Milch, Eier oder Fleisch von dem behandelten Tier nicht in den Handel gebracht werden darf.

Wirtschaftsdünger: Wirtschaftseigener Dünger, organische Substanzen wie Gülle, Jauche, Mist, Stroh, Futterreste, Rindenmulch, Pflanzenrückstände, und Gärreste aus Biogasanlagen.

Zellzahl: Gehalt an somatischen, d.h. aus dem Körper laktierender Tiere stammenden Zellen und Zellbestandteile pro ml Milch (Epithelzellen, Leukozyten und Lymphozyten), routinemäßig erfasster Indikator für den Ausschluss von Euterinfektionen.

Zwischenfrüchte: Pflanzen, die aus Erosionsschutzgründen, Gründen des Gewässerschutzes oder zur Stickstofffixierung angepflanzt werden. Diese bedecken den Boden zwischen dem Aufwuchs in der Zeit zwischen zwei Kulturen.

12 Literaturverzeichnis

16. AMG NOVELLE. 2013. Sechzehntes Gesetz zur Änderung des Arzneimittelgesetzes. Bundesgesetzblatt Teil I 2013Nr. 62 vom 16.10.2013. http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl113s3813.pdf
- AARONS, S. R., GOURLEY, C. J. P. 2012. The role of riparian buffer management in reducing off-site impacts from grazed dairy systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28, 1-16.
- ADAMS, C., ASCE, M., WANG, Y., LOFTIN, K., MEYER, M. 2002. Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment processes. *J. Environ. Eng.* 128, 253-260.
- AGERSØ, Y. 2012. Study of methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in Danish pigs at slaughter and in imported retail meat reveals a novel MRSA type in slaughter pigs. *Veterinary microbiology*, 157. Jg., Nr. 1, S. 246-250.
- AGNEESSENS, J., GOOSSENS, L., MEISSONNIER, E., VEYS, P. 2006. Wirksamkeit einer Kokzidiose-Metaphylaxe mit Diclazuril (Vecoxan®) in einer Charolais Mutterkuhherde. Paper presented at the 24. Welt-Buiatrik-Kongress 2006, Nizza.
- AGRA-EUROPE. 2015. Antibiotika: Ein Tierarzt redet Klartext. In: Wochenblatt für Landwirtschaft & Landleben, <http://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/nachrichten/antibiotika-ein-tierarzt-redet-klartext-10439.html>
- AHN, K., YEOM, I., PARK, K., MAENG, S., LEE, Y., SONG, K., HWANG, J. 2002. Reduction of sludge by ozone treatment and production of carbon source for denitrification. *Water Science & Technology* 46, 121-125.
- ALEXANDER J, BOLLMANN A, SEITZ W, SCHWARTZ T 2015. Microbiological characterization of aquatic microbiomes targeting taxonomical marker genes and antibiotic resistance genes of opportunistic bacteria. *Science of Total Environment*, 512–513, 316–325.
- ALITALO, A. 2014. Combination of biological and physico-chemical factors in the development of manure nutrient recovery and recycling-oriented technology. *MTT Science*.
- ÁLVAREZ, J. A., OTERO, L., LEMA, J. M., OMIL, F. 2010. The effect and fate of antibiotics during the anaerobic digestion of pig manure. *Bioresource technology* 101, 8581-8586.
- ANDERSEN, H., SIEGRIST, H., HALLING-SØRENSEN, B., TERNES, T. A. 2003. Fate of estrogens in a municipal sewage treatment plant. *Environmental Science & Technology* 37, 4021-4026.
- ANDERSEN, H.R., HANSEN, M., INGERSLEV, F., KJOLHOLT, J., STUER-LAURIDSEN, F., TERNES, T., HALLING-SØRENSEN, B. 2005. Assessment of the importance of sorption for steroid estrogens removal during activated sludge treatment. *Chemosphere* 61, 139–146.
- ANGELIDAKI, I., B. AHRING 2000. Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. *Water Sci. Technol.* 4, 189–194.
- ANGENENT, L.T., MAU, M., GEORGE, U., ZAHN, J.A., RASKIN, L. 2008. Effect of the presence of the antimicrobial Tylosin in swine waste on anaerobic treatment. *Water Res.* 42, 2377–2384.
- ARIKAN, O. 2008. Degradation and metabolization of chlortetracycline during the anaerobic digestion of manure from medicated calves. *Journal of Hazardous Materials* 158, 485–490.
- ARIKAN, O., MULBRY, W., INGRAM, D., MILLNER, P. 2009b. Minimally managed composting of beef manure at the pilot scale: effect of manure pile construction on pile temperature profiles and on the fate of oxytetracycline and chlortetracycline. *Bioresource Technology* 100, 4447-4453.
- ARIKAN, O., MULBRY, W., RICE, C. 2009a. Management of antibiotic residues from agricultural sources: use of composting to reduce chlortetracycline residues in beef manure from treated animals. *Journal of Hazardous Materials* 164, 483–489.
- ARIKAN, O.A., SIKORA, L.J., MULBRY, W., KHAN, S.U., FOSTER, G.D. 2007. Composting rapidly reduces levels of extractable oxytetracycline in manure from therapeutically treated beef calves. *Bioresour. Technol.* 98, 169–176.
- AUGUGLIARO, V., GÁRCIA-LÓPEZ, E., LODDO, V., MALATO-RODRÍGUEZ, S., MALDONADO, I., MARCÌ, G., MOLINARI, R., PALMISANO, L. 2005. Degradation of lincomycin in aqueous medium: coupling of solar photocatalysis and membrane separation. *Sol. Energy* 79, 402-408.

- AUST, M.-O., GODLINSKI, F., TRAVIS, G.R., HAO, X., MCALLISTER, T.A., LEINWEBER, P., ET AL. 2008. Distribution of sulfamethazine, chlortetracycline and tylosin in manure and soil of Canadian feedlots after subtherapeutic use in cattle. *Environmental Pollution* 156, 1243–1251.
- AUST, V. 2013. Verfütterung von unbehandelter und pasteurisierter Sperrmilch und Tankmilch an Aufzuchtälber: Auswirkungen auf Gewichtsentwicklung, Tiergesundheit und antimikrobielle Resistenzmuster fäkaler Bakterien. 2013. Doktorarbeit. Bibliothek der Tierärztlichen Hochschule Hannover.
- AVERY, L.M., KILLHAM, K., JONES, D.L. 2005. Survival of *E. coli* O157:H7 in organic wastes destined for land application. *J Appl Microbiol* 98, 814–822.
- BALZER, F., WOLTER, R., PENNING, M., BERGMANN, S., KARFUSEHR, C., HANNAPPEL, S. 2015. Antibiotika-Rückstände im oberflächennahen Grundwasser in Nordwestdeutschland : aktueller Stand der Kenntnisse und mögliche Eintragsquellen. *KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 8, 6.
- BAO, Y., ZHOU, Q., GUAN, L., WANG, Y. 2009. Depletion of chlortetracycline during composting of aged and spiked manures. *Waste Management* 29, 1416–1423.
- BARONTI, C., CURINI, R., D'ASCENZO, G., DI CORCIA, A., GENTILI, A., SAMPERI, R. 2000. Monitoring natural and synthetic estrogens at activated sludge sewage treatment plants and in a receiving river water. *Environmental Science & Technology* 34, 5059–5066.
- BARTELT-HUNT, S.L., DEVIVO, S., JOHNSON, L., SNOW, D.D., KRANZ, W.L., MADER, T.L., ... ZHANG, T.C. 2013. Effect of composting on the fate of steroids in beef cattle manure. *Journal of environmental quality* 42, 1159-1166.
- BÄTZA, H.-J. 2014. Bekanntmachung von Empfehlungen für hygienische Anforderungen an das Halten von Wiederkäuern. *Bundesanzeiger*.
- BAUTITZ, I.R., NOGUEIRA, R.F.P. 2007. Degradation of tetracycline by photo-Fenton process e solar irradiation and matrix effect. *J. Photochem. Photobiol. A* 187, 33-39.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (STMELF), 2015. Cross Compliance 2015: Informationsbroschüre über die einzuhaltenden Verpflichtungen. DATEV eG, Nürnberg.
- BEKANNTMACHUNG DER THERAPIEHÄUFIGKEIT IM BUNDESANZEIGER. 2014ff.
http://www.bvl.bund.de/DE/05_Tierarzneimittel/03_Tieraerzte/04_Therapiehaeufigkeit/Therapiehaeufigkeit_node.html
- BERNAL-MARTINEZ, A., CARRÈRE, H., PATUREAU, D., DELGENÈS, J.P. 2007. Ozone pre-treatment as improver of PAH removal during anaerobic digestion of urban sludge. *Chemosphere* 68, 1013–1019.
- BERNEMANN, U. 2012. Orale NSAIDs - Mehr als nur Verbesserung des Tierwohls. *Grosstierpraxis*, 13, 6.
- BERNS, G. 1996. Einbindung von Check-Listen und mobilem Analysenlabor in Beratungskonzepte zur Erweiterung von Gesundheitsvorsorge- und Qualitätsmanagementsystemen in der Schweinefleischerzeugung: na.
- BIOLAND, 2015. Stellungnahme des Bioland e.V. zum Entwurf der Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung, DüV).
- BIOZID-VERORDNUNG (EU) NR. 528/2012: Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten.
- BLACKWELL, P.A., BOXALL, A.B., KAY, P., NOBLE, H. 2005. Evaluation of a lower tier exposure assessment model for veterinary medicines. *Journal of agricultural and food chemistry* 53, 2192-2201.
- BOEGEL, F., STEINHOFF-WAGNER, J., PETERSEN, B. 2015. Unveröffentlichte Medienanalyse im Rahmen dieses Projektes in landwirtschaftlichen und reiterlichen Fachzeitschriften zu strategischen und selektiven Entwurmung.
- BOELHAUVE, M. 2015. RE: Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung der Tierhygiene und zur Prävention von Tierseuchen in schweinehaltenden Betrieben in NRW
- BOHN, P., BAK, S.A., BJÖRKLUND, E., KROGH, K.A., HANSEN, M. 2013. Abiotic degradation of antibiotic ionophores. *Environmental Pollution* 182, 177-183.
- BÖKEN, H., 2002. Was ist gute fachliche Praxis? In: „Vorsorgender Bodenschutz“ – Stand und Perspektiven der „Guten fachlichen Praxis“ für die landwirtschaftliche Bodennutzung. Beiträge zur Tagung am 31. Oktober 2002.

- BOKLUND, A., ALBAN, L., MORTENSEN, S., H., H. 2004. Biosecurity in 116 Danish fattening swineherds: descriptive results and factor analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 66, 49-62.
- BONMATI, A., FLOTATS, X. 2003. Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre-or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. *Waste management* 23, 261-272.
- BOS, M. E., GRAVELAND, H., PORTENGEN, L., WAGENAAR, J. A., HEEDERIK, D. J. 2012. Livestock-associated MRSA prevalence in veal calf production is associated with farm hygiene, use of antimicrobials, and age of the calves. *Preventive Veterinary Medicine*, 105, 155-9.
- BOUGRIER, C., BATTIMELLI, A., DELGENES, J.P., CARRERE, H. 2007. Combined ozone pretreatment and anaerobic digestion for the reduction of biological sludge production in wastewater treatment. *Ozone: Science and Engineering* 29, 201-206.
- BOXALL, A.B. 2010. Veterinary medicines and the environment. In *Comparative and Veterinary Pharmacology*. Springer Berlin Heidelberg, 291-314.
- BRADFORD, S.A., ZHENG, W., YATES, S.R. 2006. Sulfadimethoxine degradation kinetics in manure as affected by initial concentration, moisture, and temperature. *J. Environ. Qual.* 35, 2162-2169.
- BRÜHL, C.A., ALSCHER, A., HAHN, M., BERGER, G., BETHWELL, C., GRAEF, F., SCHMIDT, T., WEBER, B., 2015. Protection of Biodiversity in the Risk Assessment and Risk Management of Pesticides (Plant Protection Products & Biocides) with a Focus on Arthropods, Soil Organisms and Amphibians. UBA-Texte 76/2015
- BRUNI, E., JENSEN, A.P., ANGELIDAKI, I. 2010. Comparative study of mechanical, hydrothermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production. *Biores. Technol.* 101, 8713-8717.
- BUDDE, J. 2015. Improving digestibility of cattle waste by thermobarical treatment: Lab-scale experiments and assessment of full-scale model application. Dissertation, Humboldt Universität Berlin.
- BUND, 2015. Stellungnahme zu Entwürfen für das Düngegesetz und zur Düngeverordnung vom 22. Juni 2015.
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO) 2014. Positionspapier der LABO zur „Guten fachlichen Praxis“ der landwirtschaftlichen Bodennutzung.
- BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 101 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) 2015a. Eckpunkte für weitere Regelungen für den Einsatz von Antibiotika bei Tieren.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) 2014. Orale Anwendung von Tierarzneimitteln im Nutztierbereich über das Futter oder das Wasser. Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) 2015b. Verordnungsentwurf des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (22. Juni 2015): Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) 2015c. Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung.- Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) & BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV) 2012. Nitratbericht 2012: Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bonn.
- BUNDESNATURSCHUTZGESETZ vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 421 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist
- BUNDESTIERÄRZTEKAMMER (BTK) 2015. Leitlinien für den sorgfältigen Umgang mit antibakteriell wirksamen Tierarzneimitteln -mit Erläuterungen-. Deutsches Tierärzteblatt, 3, Supplement.
- BUNDESVERBAND FÜR TIERGESUNDHEIT (BfT) 2014. Tierarzneimittelmarkt 2014 in Deutschland. Online Pressemeldung <http://www.bft-online.de/index.php?id=844>

- BÜYÜKSÖNMEZ, F., R. RYNK, T.F. HESS, E. BECHINSKI 1999. Occurrence, degradation, and fate of pesticides during composting: Part I. Composting, pesticides, and pesticide degradation. *Compost Sci. Util.* 7:66–82.
- CAGIENARD, A., REGULA, G., DANUSER, J. 2005. The impact of different housing systems on health and welfare of grower and finisher pigs in Switzerland. *Preventive Veterinary Medicine*, 68, 49-61.
- CANBOLAT, M.Y., BILEN, S., ÇAKMAKÇI, R., ŞAHİN, F., AYDIN, A. 2006. Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. *Biol Fertil Soils*, 42, 350–7.
- CARBALLA, M., FINK, G., OMIL, F., LEMA, J.M., TERNES, T. 2008. Determination of the solid-water distribution coefficient (Kd) for pharmaceuticals, estrogens and musk fragrances in digested sludge. *Water Res.* 42, 287–295.
- CARBALLA, M., OMIL, F., ALDER, A., LEMA, J. 2006. Comparison between the conventional anaerobic digestion of sewage sludge and its combination with a chemical or thermal pre-treatment concerning the removal of pharmaceuticals and personal care products. *Water Sci & Technol* 53, 109-117.
- CARBALLA, M., OMIL, F., TERNES, T., LEMA, J.M. 2007. Fate of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) during anaerobic digestion of sewage sludge. *Water Research* 41, 2139-2150.
- CARVALHO, P. N., ARAUJO, J. L., MUCHA, A. P., BASTO, M. C., ALMEIDA, C. M. 2013. Potential of constructed wetlands microcosms for the removal of veterinary pharmaceuticals from livestock wastewater. *Bioresour Technol*, 134, 412-6.
- CELESTINA, T.V., KOLAR, L., GOBEC, I., KUŽNER, J., FLAJS, V.C., POGAČNIK, M., ERŽEN, N.K. 2010. Factors influencing dissipation of avermectins in sheep faeces. *Ecotoxicology and environmental safety* 73, 18-23.
- CENTNER, T. J. 2003. Regulating concentrated animal feeding operations to enhance the environment. *Environmental Science & Policy*, 6, 433-440.
- CESSNA, A.J., LARNEY, F.J., KUCHTA, S.L., HAO, X.Y., ENTZ, T., TOPP, E., MCALLISTER, T.A. 2011. Veterinary antimicrobials in feedlot manure: dissipation during composting and effects on composting processes. *Journal of Environmental Quality*, 40, 188–198.
- CHA, J., YANG, S., CARLSON, K.H. 2016. Occurrence of β -lactam and polyether ionophore antibiotics in surface water, urban wastewater, and sediment. *Geosystem Engineering (im Druck)*.
- CHANG, B.V., HSU, F.Y., LIAO, H.Y. 2014. Biodegradation of three tetracyclines in swine wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 49, 449-455.
- CHEE-SANFORD, J., KRAPAC, I., YANNARELL, A., MACKIE, R. 2012. Environmental Impacts of Antibiotic Use in the Animal Production Industry, In: NORRGREN, L., LEVENGOOD, J.M. (eds.), *Ecology and Animal Health*. Baltic University Press, Uppsala, pp. 228–368.
- CHELLIAPAN, S., WILBY, T., SALLIS, P.J. 2006. Performance of an up-flow anaerobic stage reactor (UASR) in the treatment of pharmaceutical wastewater containing macrolide antibiotics. *Water Res.* 40, 507–516.
- CHEN, W.R., HUANG, C.H. 2009. Transformation of tetracyclines mediated by Mn(II) and Cu(II) ions in the presence of oxygen. *Environmental Science and Technology* 43, 401–407.
- CHEN, Y., ZHANG, H., LUO, Y., SONG, J. 2012. Occurrence and assessment of veterinary antibiotics in swine manures: A case study in east china. *Chin. Sci. Bull.* 57, 606–614.
- CHEN, Y., ZHANG, H., LUO, Y., SONG, J. 2012. Occurrence and dissipation of veterinary antibiotics in two typical swine wastewater treatment systems in east China. *Environmental monitoring and assessment* 184, 2205-2217.
- CHIU, Y.C., CHANG, C.N., LIN, J.G., HUANG, S.J. 1997. Alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before anaerobic digestion. *Water Science and Technology* 36, 155-162.
- CHRISTEL, W. 2014. Upgrading of the solid fraction of pig slurry as phosphorus fertilizer. *Diss. Univ. Kopenhagen*.
- CHU, B., GOYNE, K. W., ANDERSON, S. H., LIN, C. H., LERCH, R. N. 2013. Sulfamethazine Sorption to Soil: Vegetative Management, pH, and Dissolved Organic Matter Effects. *Journal of Environmental Quality*, 42, 794-805.
- CHU, L., YAN, S., XING, X.H., SUN, X., JURCIK, B. 2009. Progress and perspectives of sludge ozonation as a powerful pretreatment method for minimization of excess sludge production. *Water Research* 43, 1811-1822.

- CHUCRI, T.M., J.M. MONTEIRO, A.R. LIMA, M.L.B. SALVADORI, J.R. KFOURY JUNIOR, M.A. MIGLINO 2010. A review of immune transfer by the placenta. *Journal of Reproductive Immunology* 87: 14–20.
- CLARA, M., STRENN, B., SARACEVIC, E., KREUZINGER, N. 2004. Adsorption of bisphenol-A, 17 β -estradiol and 17 α -ethinylestradiol to sewage sludge. *Chemosphere* 56, 843–851.
- CLARA, M., GANS, O., HUMER, F., WEISS, S., ZIERITZ, I., 2010. Antibiotika im Grundwasser. Sondermessprogramm im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung. Umweltbundesamt (Österreich), REP-0258, BMLFUW-UW.3.1.4/0144-VII/1/2007. <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0258.pdf>
- DAHL, J., WINGSTRAND, A., NIELSEN, B., BAGGESEN, D. L. 1997. Elimination of *Salmonella typhimurium* infection by the strategic movement of pigs. *Veterinary Record*, 140, 679–681.
- DART 2020. Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie: Antibiotika-Resistenzen bekämpfen zum Wohl von Mensch und Tier. Bundesministerium für Gesundheit, das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft sowie das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Beschluss des Bundeskabinetts vom 13. Mai 2015. http://www.bmg.bund.de/fileadmin/dateien/Publikationen/Ministerium/Broschueren/BMG_DART_2020_Bericht_dt.pdf
- DAVIES J, SPIEGELMAN GB, YIM G. 2006. The world of subinhibitory antibiotic concentrations. *Curr. Opin. Microbiol.* 9(5), 445–453.
- DAY, S.T., CROUTHAMEL, W.G., MARTINELLI, L.C., MA, J.K.H. 1978. Mechanism of fluorometric analysis of tetracycline involving metal complexation. *J. Pharmaceut. Sci.* 67, 1518–1523.
- DE GELDER L, WILLIAMS JJ, PONCIANO JM, SOTA M, TOP EM. 2008. Adaptive plasmid evolution results in host-range expansion of a broad-host-range plasmid. *Genetics* 178, 2179–2190.
- DE LA HOZ, A., DIAZ-ORTIZ, A., MORENO, A. 2005. Microwaves in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects. *Chemical Society Reviews* 34, 164–178.
- DE LIGUORO, M., CIBIN, V., CAPOLONGO, F., HALLING-SØRENSEN, B., MONTESISSA, C. 2003. Use of oxytetracycline and tylosin in intensive calf farming: Evaluation of transfer to manure and soil. *Chemosphere* 52, 203–212.
- DE PAULA VIEIRA, A., V. GUESDON, A. M. DE PASSILLE, M. A. GRÄFIN VON KEYSERLINGK, D. M. WEARY 2008. Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 109, 10.
- DE PAULA VIEIRA, A., V. GUESDON, A. M. DE PASSILLE, M. A. GRÄFIN VON KEYSERLINGK, D. M. WEARY. 2008. Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science* 109: 180–189.
- DEL PILAR CASTILLO, M., TORSTENSSON, L., STENSTROM, J. 2008. Biobeds for environmental protection from pesticide use--a review. *J Agric Food Chem*, 56, 6206-19.
- DÉLÉRIS, S., PAUL, E., AUDIC, J.M., ROUSTAN, M., DEBELLEFONTAINE, H. 2000. Effect of ozonation on activated sludge solubilization and mineralization. *Ozone: science & engineering* 22, 473-486.
- DERBY, N.E., H. HAKK, F.X.M. CASEY, T.M. DESUTTER. 2011. Effects of composting swine manure on nutrients and estrogens. *Soil Sci.* 176:91–98.
- DES MES, T.Z.D., KUJAWA-ROELEVEL, K., ZEEMAN, G., LETTINGA, G. 2008. Anaerobic biodegradation of estrogens—Hard to digest. *Water Sci. Technol.* 57, 1177–1182.
- DESAI, D.K., HOADLEY, A.F.A. 2009. Superheated Steam Drying of Brewer's Spent Grain in a Rotary Drum, *Advanced Powder Technology* 20, 240-244.
- DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU) 2015. DBU-Fachinfo. Ausgewählte Förderthemen der Deutschen Bundesstiftung Umwelt In: MENZ, V., RÜMMELE, S. (eds.) *Arzneimittelrückstände in der Umwelt: Vom Erkennen zum vorsorgenden Handeln*. Osnabrück: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- DEUTSCHER BAUERNVERBAND (DBV), VERBAND DER FLEISCHWIRTSCHAFT (VDF), HAUPTVERBAND DES DEUTSCHEN EINZELHANDELS (HDE). 2008. Gemeinsame Erklärung zur Ferkelkastration („Düsseldorfer Erklärung“). <http://www.dgfb-bonn.de/presse/duesseldorfer-erklarung-zur-ferkelkastration.html>
- DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (DWA), 2015. Stellungnahme: Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Entwurf vom 18. Dezember 2014). DWA, Hennef.

- DOHMEN, W., NEIJENHUIS, F., HOGEVEEN, H. 2010. Relationship between udder health and hygiene on farms with an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 93, 4019-4033.
- DOLLIVER, H., GUPTA, S., NOLL, S. 2008. Antibiotic degradation during manure composting. *J. Environ. Qual.* 37, 1245–1253.
- DOLLIVER, H.A., GUPTA, S.C. 2008. Antibiotic losses from unprotected manure stockpiles. *Journal of environmental quality* 37, 1238-1244.
- DONOHO, A.L. 1984. Biochemical studies on the fate of monensin in animals and in the environment. *Journal of Animal Science* 58, 1528-1539.
- DORIVAL-GARCÍA, N., ZAFRA-GÓMEZ, A., NAVALÓN, A., GONZÁLEZ-LÓPEZ, J., HONTORIA, E., VÍLCHEZ, J.L. 2013. Re-moval and degradation characteristics of quinolone antibiotics in laboratory-scale activated sludge reactors under aerobic, nitrifying and anoxic conditions. *Journal of environmental management* 120, 75-83.
- DREWES, J.E., BELLONA, C., OEDEKOVEN, M., XU, P., KIM, T.U., AMY, G. 2006. Rejection of wastewater-derived micropollutants in high-pressure membrane applications leading to indirect potable reuse. *Environmental Progress* 24, 400-409.
- DT. TIERSCHUTZBUND 2011. Tierschutzlabel des dt. Tierschutzbundes. URL: <http://www.tierschutzlabel.info/tierschutzlabel/premiumstufe/>
- DÜRCKHEIMER, W. 1975. Tetrazykline: Chemie, Biochemie und Struktur-Wirkungs-Beziehungen. *Angewandte Chemie*, 21, 751-784
- DÜSSELDORF, S. 2013. Concept of key performance indicators controlling consumer oriented quality and herd health management in a Bavarian pork chain. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn.
- ELLEBRECHT, A. 2008. Nutzenbetrachtung internetbasierter Informationssysteme im einzel- und überbetrieblichen Gesundheitsmanagement. Dissertation an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, veröffentlicht online: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2008/1445/1445.pdf>.
- ELLEBRECHT, S. 2012. Application concept of combined preventive quality management methods in inter-enterprise health management of pork chains. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn.
- ENGELS, H. 2005. Verhalten von ausgewählten Tetrazyklinen und Sulfonamiden in Wirtschaftsdünger und in Böden. Cuvillier Verlag.
- ESPERANZA, M., SUIDAN, M.T., MARFIL-VEGA, R., GONZALEZ, C., SORIAL, G.A., MCCAULEY, P., BREMMER, R. 2007. Fate of sex hormones in two pilot-scale municipal wastewater treatment plants: conventional treatment. *Chemosphere* 66, 1535–1544.
- EUROPEAN MEDICINES AGENCY (EMA), CVMP COMMITTEE. 2012. Reflection paper on risk mitigation measures related to the environmental risk assessment of veterinary medicinal products. EMA/CVMP/ERAWP/409328/2010. http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Scientific_guideline/2012/03/WC500124187.pdf
- EUROPEAN UNION 1998. The Copenhagen Recommendations. Report from the Invitational EU Conference on the Microbial Threat. In: ROSDAHL, V. T., PEDERSEN, K. B. (eds.). Copenhagen, Dänemark.
- FANG, Z. 2013. Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries. Springer, Heidelberg, New York
- FELSNER, M., SCHWERTL-BANZHAF, K. 2015. Kokzidiostatika, Informationen des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit.
- FLEIGE, H., HORN, R., STANGE, F. 2002. Soil mechanical parameters derived from the CA-database Subsoil compaction, In: Sustainable Land Management - Environmental Protection: A Soil Physical Approach, *Advances in Geoecology*. Catena, Reiskirchen, 359–66.
- FLESSA, H., MÜLLER, D., PLASSMANN, K., OSTERBURG, B., TECHEN, A.-K., 2012. Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- FOGED, H.L., FLOTATS, X., BLASI, A.B., PALATSI, J., MAGRI, A., SCHELDE, K.M. 2011. Inventory of Manure Processing Activities in Europe (Technical Report No. I concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission): Tjele, Denmark: European Commission, Directorate-General Environment. 138 Seiten.

- FÖRSTER, M., LAABS, V., LAMSHÖFT, M., GROENEWEG, J., ZÜHLKE, S., SPITELLER, M., KRAUSS, M., KAUPENJOHANN, M., AMELUNG, W. 2009. Sequestration of Manure-Applied Sulfadiazine Residues in Soils. *Environmental Science & Technology*, 43, 1824-1830.
- FRANKE-WHITTLE, I.H., INSAM, H. 2013. Treatment alternatives of slaughterhouse wastes, and their effect on the inactivation of different pathogens: A review. *Crit Rev Microbiol* 39, 139–151.
- FRANZ, C. 2013. Wissenschaftliche Erkenntnisse des Einsatzes pflanzlicher Wirkstoffe in der Tierernährung und in Tierarzneimitteln. *Gülzower Fachgespräche*(44), 25. doi:ISBN 978-3-942147-14-9
- FRELIH-LARSEN, A., MACLEOD, M., OSTERBURG, B., EORY, A. V., DOOLEY, E., KÄTSCH, S., NAUMANN, S., REES, B., TARSITANO, D., TOPP, K., WOLFF, A., METAYER, N., MOLNAR, A., POVELLATO, A., BOCHU, J.L., LASORELLA, M.V., LONGHITANO, D. 2014. Mainstreaming climate change into rural development policy post 2013. Final report. Ecologic Institute, Berlin.
- FREY, B. 2010. Bewertung von befahrungsbedingten Bodenveränderungen mittels Bakterienpopulationen | Evaluation of machine-induced soil compaction in forest soils by means of changes in soil bacteria populations. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 161, 498–503.
- FUJII, K., KIKUCHI, S., SATOMI, M., USHIO-SATA, N., MORITA, N. 2002. Degradation of 17beta-Estradiol by a gramnegative bacterium isolated from activated sludge in a sewage treatment plant in Tokyo, Ja-pan. *Applied and Environmental Microbiology* 68, 2057–2060.
- GANS, O.; PFUNDTNER, E.; WINCKLER, CHR.; BAUER, A. 2010. Antibiotika in Biogasanlagen – Abbauverhalten und Einfluss auf die Biogasproduktion. Umweltbundesamt GmbH, Report 0287, Österreich. ISBN 978-3-99004-088-1. <http://www.umweltbundesamt.at/>, Zugriff am 12.11.2012.
- GAROMA, T., UMAMAHESHWAR, S.K., MUMPER, A. 2010. Removal of sulfadiazine, sulfamethizole, sulfamethoxazole, and sulfathiazole from aqueous solution by ozonation. *Chemosphere* 79, 814-820.
- GARTISER, S., URICH, E., ALEXY, R., KUMMERER, K. 2007. Anaerobic inhibition and biodegradation of antibiotics in ISO test schemes. *Chemosphere* 66, 1839–1848.
- GERLACH, A., SCHMIDT, HP. 2012. Pflanzenkohle in der Rinderhaltung. *ithakajournal*, 1, 5.
- GERMAP. 2012. (BVL. 2014)–Antibiotika-Resistenz und–Verbrauch. Bericht über den Antibiotikaverbrauch und die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Human-und Veterinärmedizin in Deutschland: Antiinfectives Intelligence Gesellschaft für klinisch-mikrobiologische Forschung und Kommunikation mbH.
- GERMERSHAUSEN, L. 2015. Ergebnisse der niedersächsischen Sonderuntersuchungen zu Tierarzneimitteln im Grundwasser.
- GESELLSCHAFT FÜR PFERDEMEDIZIN E.V. (BUNDESVERBAND PRAKTIZIERENDER TIERÄRZTE) 2006. Anmerkungen zum Antibiotikaeinsatz beim Pferd.1- 5
- GILBERTSON, T.J., HORNISH, R.E., JAGLAN, P.S., KOSHY, K.T., ET AL. 1990. Environmental fate of ceftiofur sodium, a cephalosporin antibiotic — role of animal excreta in its decomposition. *J Agric Food Chem* 38, 890–894.
- GOETZE, L. 2015. Brauchen Tierärzte wirklich einen Kodex? *Nutztierpraxis aktuell*, 52. 5.
- GOLET, E.M., ALDER, A.C., GIGER, W. 2002. Environmental exposure and risk assessment of fluoroquinolone antibacterial agents in wastewater and river water of the Glatt Valley Watershed, Switzerland. *Environmental Science & Technology* 36, 3645-3651.
- GOLET, E.M., XIFRA, I., SIEGRIST, H., ALDER, A.C., GIGER, W. 2003. Environmental exposure assessment of fluoroquinolone antibacterial agents from sewage to soil. *Environ. Sci. Technol.* 37, 3243–3249.
- GÓMEZ-BRANDÓN, M., JUÁREZ, M. F. D., DOMÍNGUEZ, J., INSAM, H. 2013. Animal manures: recycling and management technologies. *Biomass Now—Cultivation and Utilization*.
- GRADEL, K. O., RATTENBORG, E. 2003. A questionnaire-based, retrospective field study of persistence of *Salmonella* Enteritidis and *Salmonella* Typhimurium in Danish broiler houses. *Preventive Veterinary Medicine*, 56, 267-284.
- GREEN M.J., K.A. LEACH, J.E. BREEN, L.E. GREEN, A.J. BRADLEY 2007. National intervention study of mastitis control in dairy herds in England and Wales. *Veterinary Record* 160: 287-93.

- GROMADZKA, K., SWIETLIK, J. 2007. Organic micropollutants degradation in ozoneloaded system with perfluorinated solvent. *Water Res.* 41, 2572–2580.
- GRÖNROOS, A., KYLLÖNEN, H., KORPIJÄRVI, K., PIRKONEN, P., PAAVOLA, T., JOKELA, J., RINTALA, J. 2005. Ultrasound assisted method to increase soluble chemical oxygen demand (SCOD) of sewage sludge for digestion. *Ultrasonics Sonochemistry* 12, 115-120.
- GU, C., KARTHIKEYAN, K.G., SIBLEY, S.D., PEDERSEN, J.A. 2007. Complexation of the antibiotic tetracycline with humic acid. *Chemosphere* 66, 1494–1501.
- GULLBERG E, ALBRECHT LM, KARLSSON C, SANDEGREN L, ANDERSSON DI. 2014. Selection of a multidrug resistance plasmid by sublethal levels of antibiotics and heavy metals. *MBio* 5(5).
- GUŠTIN, S., MARINŠEK-LOGAR, R. 2011. Effect of pH, temperature and air flow rate on the continuous ammonia stripping of the anaerobic digestion effluent. *Process Saf. Environ. Prot.* 89, 61–66.
- GYMNICH, S. 2001. (Diss. Agr., Bonn) **Haptoglobin als Screeningparameter im Gesundheitsmanagement von Ferkelaufzuchtbetrieben.** Shaker Verlag, Aachen, ISBN 3-8265-9594-7.
- HADORN, R., GLOOR, H., WIEDMER, H. 2001. Kokzidioseimpfung und nutritiver Einsatz von Kokzidiostatika. *Agrarforschung Schweiz*, 8, 202-207.
- HAFEZ, M. 2008. Poultry coccidiosis: prevention and control approaches. *Arch.Geflügelk.*, 72 (1). S. 2–7, 2008, ISSN 0003-9098. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- HAKK, H., P. MILLNER, G. LARSEN 2005. Decrease in water-soluble 17 β -estradiol and testosterone in composted poultry manure with time. *J. Environ. Qual.* 34, 943–950.
- HALLING-SØRENSEN, B., SENDELØV, G., TJØRNELUND, J. 2002. Toxicity of tetracyclines and tetracycline degradation products to environmentally relevant bacteria, including selected tetracycline-resistant bacteria. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 42, 263–271.
- HAMMON, H. M., SCHIESSLER, G., NUSSBAUM, A., BLUM, J.W. 2002. Feed Intake Patterns, Growth Performance, and Metabolic and Endocrine Traits in Calves Fed Unlimited Amounts of Colostrum and Milk by Automate, Starting in the Neonatal Period. *Journal of Dairy Science*, 85, 11.
- HAMSCHER, G.; SCZESNY, S.; HÖPER, H.; NAU, H. 2002. Determination of persistent tetracycline residues in soil fertilized with liquid manure by high performance liquid chromatography with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Anal Chem* 74, 1509–1518.
- HAMSCHER, G. 2003. Entwicklung und Einsatz neuer rückstandsanalytischer Nachweisverfahren für Antibiotika und Antiparasitika in Umwelt- und Lebensmittelproben.- Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia legendi für das Fachgebiet Lebensmitteltoxikologie an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.
- HAMSCHER, G., MOHRING, S. 2012. Tierarzneimittel in Böden und in der aquatischen Umwelt.- Übersichtsbeitrag *Chemie Ingenieur Technik* 2012, 84, No. 7, 1052–1061.
- HAMSCHER, G., MOHRING, S., HÖPER, H., STAHL, J., KIETZMANN, M., HAIß, A., KÜMMERER, K. 2013. Identifizierung und Charakterisierung von umweltfreundlichen Tierarzneimitteln am Beispiel der Sulfonamide Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene Universitätsklinikum Freiburg.
- HAMSCHER, G., PAWELZICK, H. T., HÖPER, H., NAU, H. 2005. Different behavior of tetracyclines and sulfonamides in sandy soils after repeated fertilization with liquid manure. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24, 861-868.
- HANNAPPEL, S., BORCHERT, D., GROENWEG, J., ZÜHLKE, S. 2014. Antibiotika und Antiparasitika im Grundwasser unter Standorten mit hoher Viehbesatzdichte UBA Texte, 2014, 169.
- HANNAPPEL, S., KÖPP, C., ZÜHLKE S. 2016. Aufklärung der Ursachen von Tierarzneimittelfunden im Grundwasser-Untersuchung eintragsgefährdeter Standorte in Norddeutschland.- Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Forschungskennzahl 3714 23 210 0, TEXTE 54/2016, UBA-FB 002344, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufklaerung-der-ursachen-von-tierarzneimittelfunden>.

- HANSEN, M., BJORKLUND, E., POPOVIC, O., JENSEN, L.S., JACOBSEN, C.S., SEDLAK, D.L., HALLING-SØRENSEN, B. 2015. Animal Manure Separation Technologies Diminish the Environmental Burden of Steroid Hormones. *Environmental Science & Technology Letters* 2, 133-137.
- HANSEN, M., KROGH, K.A., BRANDT, A., CHRISTENSEN, J.H., HALLING-SØRENSEN, B. 2009. Fate and antibacterial potency of anticoccidial drugs and their main abiotic degradation products. *Environmental Pollution* 157, 474-480.
- HANSEN, M.N., HENRIKSEN, K., SOMMER, S.G. 2006. Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmos Environ* 40:4172–4181.
- HAO, X., XU, S., LARNEY, F.J., STANFORD, K., CESSNA, A.J., MCALLISTER, T.A. 2011. Inclusion of antibiotics in feed alters greenhouse gas emissions from feedlot manure during composting. *Nutr Cycl Agroecosys* 89, 257-267.
- HARMS, K.S. 2006. Untersuchungen zum Nachweis und Vorkommen von Antibiotika und deren Metaboliten in Schweinegülle. Technische Universität München, Lehrstuhl für Tierhygiene.
- HARMSSEN, P.F.H., HUIJGEN, W., BERMUDEZ, L., BAKKER, R. 2010. Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass.
- HARTLIEB, N., ERTUNC, T., SCHAEFFER, A., KLEIN, W. 2003. Mineralization metabolism and formation of non-extractable residues of ¹⁴C-labelled organic contaminants during pilot-scale composting of municipal biowaste. *Environ. Pollut.* 126, 83–91.
- HASSANI, M., LAZARO, R., PEREZ, C., CONDON, S., PAGAN, R. 2008. Thermostability of oxytetracycline, tetracycline, and doxycycline at ultrahigh temperatures. *Journal Agric. and food chem.* 56, 2676-2680.
- HAUFE, H. C., GYGAX, L., STEINER, B., FRIEDLI, K., STAUFFACHER, M., WECHSLER, B. 2009. Influence of floor type in the walking area of cubicle housing systems on the behaviour of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 116(1), 21-27.
- HEMBROCK-HEGER, A., M. NIESSNER, R. REUPERT 2011. Tierarzneimittel in landwirtschaftlich genutzten Böden und oberflächennahem Grundwasser in NRW. *Bodenschutz* 4, 2011, S. 100-104.
- HENDRIKS, A.T. W. M., ZEEMAN, G. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* 100, 10–18.
- HERNANDEZ, R., ZAPPI, M., COLUCCI, J., JONES, R. 2002. Comparing the performance of various advanced oxidation processes for treatment of acetone contaminated water. *J. Hazard. Mater.* 92, 33-50.
- HESSE, D., GOLLNISCH, K. 2001. Böden in der Mastschweinehaltung-Rechtliche Vorgaben und Praxiserfahrung. *LANDTECHNIK*, 56(3), 162-163.
- HEUER, H., FOCKS, A., LAMSHÖFT, M., SMALLA, K., MATTHIES, M., SPITELLER, M., 2008. Fate of sulfadiazine administered to pigs and its quantitative effect on the dynamics of bacterial resistance genes in manure and manured soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 1892–900.
- HJORTH, M., CHRISTENSEN, K.V., CHRISTENSEN, M.L., SOMMER, S.G. 2010. Solid–liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for sustainable development* 30, 153-180.
- HJORTH, M., CHRISTENSEN, M.L., CHRISTENSEN, P.V. 2008. Flocculation, coagulation, and precipitation of manure affecting three separation techniques. *Bioresource technology* 99, 8598-8604.
- HO, Y.B., ZAKARIA, M.P., LATIF, P.A., SAARI, N. 2013. Degradation of veterinary antibiotics and hormone during broiler manure composting. *Bioresource technology* 131, 476-484.
- HOIGNE, J., BADER, H. 1983. Rate constants of reactions of ozone with organic and inorganic-compounds in water. 2. Dissociating organic-compounds. *Water Res.* 17, 185–194.
- HOLBROOK, R.D., NOVAK, J. T., GRIZZARD, T.J., LOVE, N.G. 2002. Estrogen receptor agonist fate during wastewater and biosolids treatment processes: A mass balance analysis. *Environ. Sci. & Technol.* 36, 4533–4539.
- HOMEM, V., SANTOS, L. 2011. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices—a review. *Journal of environmental management* 92, 2304-2347.
- HOOP, R. 2009. Massnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit bei der Auslaufhaltung von Geflügel.

- HÖPER, H. 2016. Langzeituntersuchungen zum Vorkommen von Tierarzneimitteln in Boden und Sickerwasser, Ergebnisse der niedersächsischen Bodendauerbeobachtung.- Expertengespräch Tierarzneimittel in der Umwelt (FKZ 3715 63 4301), 09./10.03.2016, Berlin.
- HORNAUER, N., HAIDN, B., SCHÖN, H. 2001. Tiergesundheit im Außenklima-Kistenstall für Mastschweine. Agrartechnische Forschung, 7(1).
- HORNIG, V. 2014. Effekte peroral applizierter Homöopathika auf den klinischen Verlauf von neonatalen Diarrhoen beim Kalb: eine prospektive, doppelt geblindete Feldstudie Doctor medicinae veterinariae, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- HÖRNING, B. 2014. Zum Einsatz von Hormonen in der intensiven Sauenhaltung Berlin: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND).
- HUBER, M.M., CANONICA, S., PARK, G.Y., VON GUNTEN, U. 2003. Oxidation of pharmaceuticals during ozonation and advanced oxidation processes. Environ. Sci. Technol. 37, 1016–1024.
- HUBER, S., PROKOP, G., BANKO, G., BISPO, A., JONES, R. J., KIBBLEWHILE, M. G., SHISHKOV, T. 2008. Environmental Assessment of Soil for Monitoring - Volume I: Indicators & Criteria. Italien: Joint Research Centre.
- HUGHES, P., HERITAGE, J. 2004. Antibiotic growth-promoters in food animals. FAO Animal Production and Health Paper, 129-152.
- HULTGREN, J. 2002. Foot/leg and udder health in relation to housing changes in Swedish dairy herds. Preventive veterinary medicine, 53(3), 167-189.
- HULTGREN, J., BERGSTEN, C. 2001. Effects of a rubber-slatted flooring system on cleanliness and foot health in tied dairy cows. Preventive veterinary medicine, 52(1), 75-89.
- HUNT, J., ANDERSON, B., PHILLIPS, B., TJEERDEMA, R., LARGAY, B., BERETTI, M., BERN, A. 2008. Use of toxicity identification evaluations to determine the pesticide mitigation effectiveness of on-farm vegetated treatment systems. Environ Pollut, 156, 348-58.
- HUSTED, S., JENSEN, L. S., JØRGENSEN, S. S. 1991. Reducing ammonia loss from cattle slurry by the use of acidifying additives: The role of the buffer system. Journal of the Science of Food and Agriculture, 57(3), 335-349.
- HYBSCHMANN, G. K., ERSBØLL, A. K., VIGRE, H., BAADSGAARD, N. P., HOUE, H. 2011. Herd-level risk factors for antimicrobial demanding gastrointestinal diseases in Danish herds with finisher pigs - A register-based study. Preventive Veterinary Medicine, 98, 190-197.
- INGERSLEV, F., HALLING-SØRENSEN, B. 2000. Biodegradability properties of sulfonamides in activated sludge. Environ. Toxicol. Chem. 19, 2467–2473.
- INGERSLEV, F., HALLING-SØRENSEN, B. 2001. Biodegradability of metronidazole, olaquinox, and tylosin and formation of tylosin degradation products in aerobic soil-manure slurries. Ecotoxicol. Environ. Safety 48, 311–320.
- Initiative Tierwohl 2015. Online verfügbar unter <http://initiative-tierwohl.de/>
- JAHN, T., HÖTKER, H., OPPERMAN, R., BLEIL, R., VELE, L. 2014. Protection of biodiversity of free living birds and mammals in respect of the effects of pesticides. Michael-Otto-Institut im NABU, Forschungs- und Bildungszentrum für Feuchtgebiete und Vogelschutz, Institut für Agrarökologie und Biodiversität (IFAB).
- JANKER-OBERMEIER, I., SIEBER, V., FAULSTICH, M., SCHIEDER, D. 2012. Solubilisation of hemicellulose and lignin from wheat straw through microwave-assisted alkali treatment. Ind. Crop. Prod. 39, 198-203.
- JECHALKE, S., HEUER, H., SIEMENS, J., AMELUNG, W., SMALLA, K. 2014. Fate and effects of veterinary antibiotics in soil. Trends in Microbiology, 22, 536-545.
- JENSEN, P. M. 2015/2013. [The Danish SPF system].
- JIANG, J., ZHAO, Q., WEI, L., WANG, K., LEE, D.J. 2011. Degradation and characteristic changes of organic matter in sewage sludge using microbial fuel cell with ultrasound pretreatment. Bioresource technology 102, 272-277.
- JIN, Y., HU, Z., WEN, Z. 2009. Enhancing anaerobic digestibility and phosphorus recovery of dairy manure through microwave-based thermochemical pretreatment. Water research 43, 3493-3502.

- JOHNSON, A.C., WILLIAMS, R.J. 2004. A model to estimate influent and effluent concentrations of estradiol, estrone and ethinylestradiol at sewage treatment works. *Environ. Sci. Technol.* 38, 3649–3658.
- JONES, O.A.H., VOULVOULIS, N., LESTER, J.N. 2002. Aquatic environmental assessment of the top 25 English prescription pharmaceuticals. *Water Res.* 36, 5013–5022.
- JOY, S.R., LI, X., SNOW, D.D., GILLEY, J.E., WOODBURY, B., BARTELT-HUNT, S.L. 2014. Fate of antimicrobials and antimicrobial resistance genes in simulated swine manure storage. *Science Total Environ.* 481, 69–74.
- JUNG, J.Y., HAMMAD KHAN, M., BAE, H. 2009. Reaction Kinetics and Degradation Pathway of Tetra-cycline in Ozonation. *Proceedings of the Water Environment Federation 2009*, 603–614.
- KAUSHIK, A., CHETAL, A. 2013. Power generation in microbial fuel cell fed with post methanation distillery effluent as a function of pH microenvironment. *Bioresource technology* 147, 77–83.
- KAY, P., BLACKWELL, P. A., BOXALL, A. B. 2005. Transport of veterinary antibiotics in overland flow following the application of slurry to arable land. *Chemosphere*, 59, 951–9.
- KAY, P., EDWARDS, A. C., FOULGER, M. 2009. A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry. *Agricultural Systems*, 99, 67–75.
- KEMPER, N. 2008. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment. *Ecological Indicators*, 8, 1–13.
- KESLER, E. M. 1981. Feeding Mastitic Milk to Calves: Review. *Journal of dairy science* 64. Jg., Nr. 5, S. 719–723.
- KHAN, M.H., JUNG, J.Y. 2008. Ozonation catalyzed by homogeneous and heterogeneous catalysts for degradation of DEHP in aqueous phase. *Chemosphere* 72, 690–696.
- KIETZMANN, M., HAMSCHER, G. 2014 Pellets statt Pulver. Pressemeldung zum Projekt <http://www.presseportal.de/nr/000>
- KIM, K. R., OWENS, G., KWON, S. I., SO, K. H., LEE, D. B., OK, Y. S. 2011. Occurrence and Environmental Fate of Veterinary Antibiotics in the Terrestrial Environment. *Water Air and Soil Pollution*, 214, 163–174.
- KIM, K.R., OWENS, G., KWON, S.I., SO, K.H., LEE, D.B., OK, Y.S. 2011. Occurrence and environmental fate of veterinary antibiotics in the terrestrial environment. *Water Air Soil Pollut.* 214, 163–174.
- KIM, K.R., OWENS, G., OK, Y.S., PARK, W.K., LEE, D.B., KWON, S.I. 2012a. Decline in extractable antibiotics in manure-based composts during composting. *Waste Manage.* 32, 110–116.
- KIM, S.-C., CARLSON, K. 2005. LC-MS2 for quantifying trace amounts of pharmaceutical compounds in soil and sediment matrices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 24, 635–644.
- KIM, S.C., YANG, J.E., OK, Y.S., JUNG, D.Y., CARLSON, K. 2012b. Degradation kinetics of three veterinary antibiotics in composted and stockpiled manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45, 43–50.
- KLAUKE, T. 2012. Risk based approach towards more sustainability in European pig production. *Universitäts- und Landesbibliothek Bonn*.
- KLUTHE, S., GROENEVELD, A. 2014. Tierärztliches Tiergesundheitsmanagement – Teil 2: Biosicherheit. *Prakt. Tierarzt.*, 95, 170–171.
- KNOX, A. K., TATE, K. W., DAHLGREN, R. A., ATWILL, E. R. 2007. Management reduces *E. coli* in irrigated pasture runoff. *California Agriculture* 64, 159–165.
- KODEŠOVÁ, R., GRABIC, R., KOČÁREK, M., KLEMENT, A., GOLOVKO, O., FÉR, M., NIKODEM, A., JAKŠÍK, O. 2015. Pharmaceuticals' sorptions relative to properties of thirteen different soils. *Sci. Total Environ.*, 511, 435–43.
- KOLZ, A. C., MOORMAN, T. B., ONG, S. K., SCOGGIN, K. D., DOUGLASS, E. A. 2005. Degradation and metabolite production of tylosin in anaerobic and aerobic swine manure lagoons. *Water Environment Research* 77, 49–56.
- KOMPETENZENTRUM NIEDERSACHSEN NETZWERK NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (3N KOMPETENZENTRUM), 2014. Biogas in Niedersachsen: Inventur 2014. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz & Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover.
- KOŠUTIČ, K., DOLAR, D., AŠPERGER, D., KUNST, B. 2007. Removal of antibiotic from model wastewater by RO/NF membrane. *Sep. Purif. Technol.* 53, 244–249.

- KOYUNCU, I., ARIKAN, O.A., WIESNER, M.R., RICE, C. 2008. Removal of hormones and antibiotics by nanofiltration membranes. *J. Membr. Sci.* 309, 94-101.
- KPMG 2014. Gutachten zur Überprüfung des tierärztlichen Dispensierrechts. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- KRESKEN M. 2014. Antibiotikaverbrauch in der Humanmedizin. Bad Honnef-Symposium 2014. Königswinter, 14.-15.04.2014. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2014.
- KREUGER, J. N., E. Catchment scale risk-mitigation experiences – key issues for reducing pesticide transport to surface waters. 2001 BCPC Symposium Proceedings: Pesticide Behaviour in Soil and Water, 2001.
- KREUZIG R, BLÜMLEIN K, HÖLTGE S. 2007b. Fate of the benzimidazole antiparasitics flubendazole and fenbendazole in manure and manured soils. *CLEAN–Soil, Air, Water* 35,488–494.
- KREUZIG R, HÖLTGE S, HEISE J, KOLB M, BERENZEN N, HAHN T, ET AL. 2007c. Untersuchungen zum Ab-flussverhalten von Veterinärpharmaka bei Ausbringung von Gülle auf Ackerland und Weide. UBA-Texte 24/07 Berlin: Umweltbundesamt. ISSN 1862–4804.
- Kreuzinger, N., Clara, M., Strenn, B., Kroiss, H., 2004. Relevance of the sludge retention time (SRT) as design criteria for wastewater treatment plants for the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals from wastewater. *Water Sci. Technol.* 50, 149–156.
- KREUZIG R, HÖLTGE S, HEISE J, SCHMANTECK I, STEIN F, BATARSEH M 2007a. Veterinary medicinal products in manure and manured soils: development of a technical protocol for laboratory tests—the manure project. *Umwelt Bundes Amt. UBA-FB 001086:1–142.*
- KREUZIG, R., HÖLTGE, S., HEISE, J., SCHMANTECK, I., STEIN, F., BATARSEH, M. 2007. Veterinary Medicinal Products in Manures and Manured Soils: Development of a Technical Protocol for Laboratory Tests - The Manure Project -. *UBA Texte*, 7, 151.
- KRUTZ, L. J., SENSEMAN, S. A., ZABLOTOWICZ, R. M., MATOCHA, M. A. 2005. Reducing herbicide runoff from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. *Weed Science* 53, 353-367.
- KUCHTA, S.L., CESSNA, A.J. 2009. Lincomycin and spectinomycin concentrations in liquid swine manure and their persistence during simulated manure storage. *Archives of environmental contamination and toxicology* 57, 1-10.
- KUDRA, T., MUJUMDAR, A.S. 2002. *Airless Drying in Advanced Drying Technologies*, New York: Marcel Dekker, Inc., 113–188.
- KÜHNE, M., WEGMANN, S., KOBE, A., FRIES, R. 2000. Tetracycline residues in bones of slaughtered animals. *Food Control*, 11(3), 175-180.
- KÜMMERER, K., AL-AHMAD, A., MERSCH-SUNDERMANN, V. 2000. Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test. *Chemosphere* 40, 701-710.
- KUNZ, H.-J. 2015. Tierwohl in der Rinderhaltung - Widerspruch zwischen Ziel und Regelwerk? *Bauernblatt*, 37-39.
- LAABS, E.-M., C. S., SCHNIEDER, T. 2009. Transkriptionsunterschiede zwischen den präadulten hypobiotischen und den nicht hypobiotischen L5 des bovinen Rinderlungenwurms *Dictyocaulus viviparus*. *LBH: Proceedings Tagung der DVG-Fachgruppe „Parasitologie und parasitäre Krankheiten“ Diagnostik, Epidemiologie und Bekämpfung von Parasitosen bei Nutz-, Haus- und Heimtieren.*
- LÄNDER-AGRARMINISTERKONFERENZ 2015. Pressemitteilung. <https://www.agrarministerkonferenz.de/Presse.html>.
- LAHTI, M., OIKARI, A. 2011. Microbial transformation of pharmaceuticals naproxen, bisoprolol, and diclofenac in aerobic and anaerobic environments. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 61, 202–210.
- LAMSHÖFT, M., SUKUL, P., ZÜHLKE, S., SPITELLER, M. 2010. Behaviour of 14C-sulfadiazine and 14C-difloxacin during manure storage. *Science of the Total Environment* 408, 1563-1568.
- LANGHOFF, R. 2008. Untersuchungen über den Einsatz von Schmerzmitteln zur Reduktion kastriationsbedingter Schmerzen beim Saugferkel. *Inaugural-Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität*
- LANUV. 2014. Evaluierung des Einsatzes von Antibiotika in der Putenmast. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (von Thomas Schäfer, Dr. Andrea Holle, Dr. Peter Scholten) LANUV-Fachbericht 58.
- LARSSON, D.G.J., ADOLFSSON-ERICI, M., PARKKONEN, J., PETTERSSON, M., BERG, A.H., OLSSON, P.E., ET AL. 1999. Ethinyloestradiol—an undesired fish contraceptive? *Aquatic Toxicology* 45, 91–97.

- LE, T.A.H., CLEMENS, J., NGUYEN, T.H. 2013. Performance of different composting techniques in reducing oestrogens content in manure from livestock in a Vietnamese setting. *Environmental monitoring and assessment* 185, 415-423.
- LE-MINH, N., KHAN, S.J., DREWES, J.E., STUETZ, R.M. 2010. Fate of antibiotics during municipal water recycling treatment processes. *Water research* 44, 4295-4323.
- LfL. 2006. Schweinegülle – Quelle für potentiell unerwünschte Stoffe.- Hrsg: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft und Technische Universität München, Schriftenreihe 12/2006, 5. Kultur-landschaftstag, ISSN 1611-4159.
- LI, K., YEDILER, A., YANG, M., SCHULTE-HOSTEDE, S., WONG, M. H. 2008. Ozonation of oxytetracycline and toxicological assessment of its oxidation by-products. *Chemosphere* 72, 473-478.
- LI, S.-Z., LI, X.-Y., WANG, D.-Z. 2004. Membrane (RO-UF) filtration for antibiotic wastewater treatment and recovery of antibiotics. *Sep. Purif. Technol.* 34, 109-114.
- LIAO, P.H., WONG, W.T., LO, K.V. 2005. Advanced oxidation process using hydrogen peroxide/microwave system for solubilization of phosphate. *Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* 40, 1753-1761.
- LIEBIG, M., FLOETER, C., HAHN, T., KOCH, W., WENZEL, A., RÖMBKE, J. 2014. Risk Mitigation Measures: An Important Aspect of the Environmental Risk Assessment of Pharmaceuticals. *Toxics*, 2, 35-49.
- LIN, C. H., LERCH, R. N., GOYNE, K. W., GARRETT, H. E. 2011. Reducing herbicides and veterinary antibiotics losses from agroecosystems using vegetative buffers. *Journal of Environmental Quality*, 40, 791-9.
- LIN, C.-H., GOYNE, K. W., KREMER, R. J., LERCH, R. N., GARRETT, H. E. 2010. Dissipation of Sulfamethazine and Tetracycline in the Root Zone of Grass and Tree Species. *Journal of Environment Quality*, 39, 1269.
- LITSKAS, V.D., KARAMANLIS, X.N., BATZIAS, G. C., TSIOURIS, S.E. 2013. Are the parasitocidal avermectins resistant to dissipation in the environment? The case of eprinomectin. *Environment international*, 60, 48-55.
- LIU, B., LI, Y., ZHANG, X., FENG, C., GAO, M., SHEN, Q. 2015. Effects of composting process on the dissipation of extractable sulfonamides in swine manure. *Bioresource technology* 175, 284-290.
- LOFTIN, K. A., HENNY, C., ADAMS, C. D., SURAMPALI, R., MORMILE, M. R. 2005. Inhibition of microbial metabolism in anaerobic lagoons by selected sulfonamides, tetracyclines, lincomycin, and tylosin tartrate. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24, 782-788.
- LOFTIN, K. A., ADAMS, C. D., MEYER, M. T., SURAMPALLI, R. 2008. Effects of ionic strength, temperature, and pH on degradation of selected antibiotics. *J Environ Qual* 37, 378-86.
- LOGAN, B. E., HAMELERS, B., ROZENDAL, R., SCHRÖDER, U., KELLER, J., FREGUIA, S., ... RABAEY, K. 2006. Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environmental science & technology* 40, 5181-5192.
- LOKE, M. L., INGERSLEV, F., HALLING-SØRENSEN, B., TJØRNELUND, J. 2000. Stability of tylosin A in manure containing test systems determined by high performance liquid chromatography. *Chemosphere* 40, 759-765.
- LOKE, M.L., TJØRNELUND, J., HALLING-SØRENSEN, B. 2002. Determination of the distribution coefficient (log K_d) of oxytetracycline, tylosin A, olaquinox and metronidazole in manure. *Chemosphere* 48, 351-361.
- LOPEZ, B., OLLIVIER, P., TOGOLA, A., BARAN, N., J.-P. GHESTEM. 2015. Screening of French groundwater for regulated and emerging contaminants.- *Science of the Total Environment* 518-519 (2015) 562-573.
- LUND, W. 1994. The pharmaceutical codex. Principles and Practice of Pharmaceutics. The Pharmaceutical Press, London.
- LÜNENBÜRGER, B., 2013. Klimaschutz und Emissionshandel in der Landwirtschaft. Umweltbundesamt, Dessau.
- MACHULEK, A., SANTOS, A.P., DA ROSA, A.P., RAMOS, D.D., DE CASTRO, D.C., GOZZI, F., ... OSUGI, M.E. 2013. Application of different advanced oxidation processes for the degradation of organic pollutants. INTECH Open Access Publisher.
- MAČUHOVÁ, J. 2008. Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Aussenklimaställen für Milchvieh: Einfluss des Aussenklimas auf das Stallklima und das Liegeverhalten von Milchkühen (Vol. 1). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- MADEC, F. 2013. Aiming at building cleanliness to keep livestock healthy In: ALAND A., T. B. (ed.) *Livestock Housing: Modern Management to Ensure Optimal health and Welfare of Farm Animals*.

- MANSFELD, R., METZNER, M. 1992. Integrierte tierärztliche Bestandsbetreuung“ in Milchviehbetrieben. Vortragszusammenfassung zu den Praxisseminaren; April bis Juni 1992; Ruthe, Beichlingen, Büdingen, Echem, Aulendorf.
- MARTIN, J., SANTOS, J. L., APARICIO, I., ALONSO, E. 2015. Pharmaceutically active compounds in sludge stabilization treatments: anaerobic and aerobic digestion, wastewater stabilization ponds and composting. *Sci Total Environ*, 503-504, 97-104.
- MARTIN, S.R. 1979. Equilibrium and kinetic studies on the interaction of tetracyclines with calcium and magnesium. *Biophysical Chemistry* 10, 319–326.
- MASSÉ, D., SAADY, N., GILBERT, Y., 2014. Potential of Biological Processes to Eliminate Antibiotics in Livestock Manure: An Overview. *Animals*, 4, 146–63.
- MASSÉ, D.I., SAADY, N.M.C., GILBERT, Y. 2014. Potential of biological processes to eliminate antibiotics in livestock manure: an overview. *Animals* 4, 146-163.
- MASSÉ, L., MASSÉ, D. I., PELLERIN, Y. 2007. The use of membranes for the treatment of manure: a critical literature review. *Biosystems Engineering* 98, 371–380.
- MASSÉ, L., MASSÉ, D.I., PELLERIN, Y. 2008. The effect of pH on the separation of manure nutrients with reverse osmosis membranes. *J. Membr. Sci.* 325, 914–919.
- MASSMANN, G., DÜNNBIER, U., HEBERER, T., PEKDEGER, A., RICHTER, D., SÜLTENFUSS J., TOSAKI Y. 2009. Hydrodynamische und hydrochemische Aspekte der anthropogen und natürlich induzierten Uferfiltration am Beispiel von Berlin/Brandenburg- Grundwasser, 14, 163–177.
- MATSUI, S., TAKIGAMI, T.M., TANIGUCHI, N., ADACHI, J., KAWAMI, H., SIMIZU, Y. 2000. Estrogen and estrogen mimics contamination in water and the role of sewage treatment. *Water Sci. Technol.* 42, 173–179.
- MDS TIERGESUNDHEIT, 2015. Online verfügbar unter <http://www.msdtiergesundheits.de/>
- MENDEZ-ARRIAGA, F., ESPLUGAS, S., GIMENEZ, J. 2008. Photocatalytic degradation of non-steroidal anti-inflammatory drugs with TiO₂ and simulated solar irradiation. *Water Research* 42, 585–594.
- MERGENTHALER, M., BOELHAUVE, M., 2015. RE: TGS Schweinehaltung: Implementierung eines Tiergesundheitssystems in der Schweinehaltung.
- MEYER, E. 2003. Haltungssysteme für Absatzferkel im Hinblick auf Leistung und Tiergesundheit. Dresden. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- MILLER, W. A., LEWIS, D. J., PEREIRA, M. D., LENNOX, M., CONRAD, P. A., TATE, K. W., ATWILL, E. R. 2008. Farm factors associated with reducing *Cryptosporidium* loading in storm runoff from dairies. *J Environ Qual* 37, 1875-82.
- MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 2015. Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP).
- MITCHELL, S.M., ULLMAN, J.L., BARY, A., COGGER, C.G., TEEL, A.L., WATTS, R.J. 2015. Antibiotic Degradation During Thermophilic Composting. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 1-12.
- MITCHELL, S.M., ULLMAN, J.L., TEEL, A.L., WATTS, R.J. 2014. pH and temperature effects on the hydrolysis of three β -lactam antibiotics: ampicillin, cefalotin and cefoxitin. *Science of the Total Environment* 466, 547-555.
- MITCHELL, S.M., ULLMAN, J.L., TEEL, A.L., WATTS, R.J., FREAR, C. 2013. The effects of the antibiotics ampicillin, florfenicol, sulfamethazine, and tylosin on biogas production and their degradation efficiency during anaerobic digestion. *Bioresource technology* 149, 244-252.
- MOENICKES, S., HÖLTGE, S., KREUZIG, R., RICHTER, O. 2011. Process dominance analysis for fate modeling of flubendazole and fenbendazole in liquid manure and manured soil. *Science Total Environm.* 410, 226-234.
- MOHRING, S. A., STRZYSCH, I., FERNANDES, M. R., KIFFMEYER, T. K., TUERK, J., HAMSCHER, G. 2009. Degradation and elimination of various sulfonamides during anaerobic fermentation: a promising step on the way to sustainable pharmacy?. *Environmental science & technology* 43, 2569-2574.
- MÖLLER, K., MÜLLER, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: a review. *Engineering in Life Sciences* 12, 242-257.

- MONTFORTS, M. H., VAN RIJSWICK, H. F., DE HAES, H. A. 2004. Legal constraints in EU product labelling to mitigate the environmental risk of veterinary medicines at use. *Regulatory toxicology and pharmacology* : RTP, 40, 327-35.
- MORARU, R., POURCHER, A.M., JADAS-HECART, A., KEMPF, I., ZIEBAL, C., KERVARREC, M., DABERT, P. 2012. Changes in Concentrations of Fluoroquinolones and of Ciprofloxacin-resistant in Chicken Feces and Manure Stored in a Heap. *Journal of environmental quality* 41, 754-763.
- MÖSENBACHER-MOLTERER, I., ZENTNER, E., SUCHANEK, S. 2014. Anforderungen von Sauen und Ferkeln an das Stallklima - ein Lüftungsvergleich. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft.
- MOTOYAMA, M., NAKAGAWA, S., TANOUE, R., SATO, Y., NOMIYAMA, K., SHINOHARA, R. 2011. Residues of pharmaceutical products in recycled organic manure produced from sewage sludge and solid waste from livestock and relationship to their fermentation level. *Chemosphere* 84, 432-438.
- MUDGAL, S., DE TONI, A. LOCKWOOD, S., SALÈS, K., BACKHAUS, T., SORESENSEN, B.H. 2013. Study on the Environmental Risk of Medicinal Products. Report 2011 61 03.
- MUJUMDAR, A.S. 1990. Superheated Steam Drying – Principles, Practice and Potential for Use of Electricity. Canadian Electrical Association Report, Montreal.
- MÜLLER, J.A. 2000. Pretreatment processes for the recycling and reuse of sewage sludge. *Water Sci. Technol.* 42, 167-174.
- MÜLLER, K., WEBER, C. 2012. Schmerzmittel sind unverzichtbar. *Elite Magazin*.
- MÜLLER, L., SCHINDLER, U. 1999. Soil moisture and workability of heavy arable soils. *Archives of Agronomy and Soil Science* 44, 161-74.
- MUREK, K., 2013. Biogasanlagen, Strombedarf, Flächenbedarf: Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Online unter: <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/355/article/20811.html>
- MUSSON, S.E., CAMPO, P., TOLAYMAT, T., SUIDAN, M., TOWNSEND, T.G. 2010. Assessment of the an-aerobic degradation of six active pharmaceutical ingredients. *Science of the Total Environment* 408, 2068-2074.
- MUTSCH, H., 2014. EEG 2014 – Auswirkungen auf Biogasanlagen. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR), Bitburg.
- NAGEL-ALNE, G. E., ASHEIM, L. J., HARDAKER, J. B., SOLVEROD, L., LINDHEIM, D., VALLE, P. S. 2014. The Norwegian Healthier Goats programme--a financial cost-benefit analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 114, 96-105.
- NASIR, I.M., T.I.M. GHAZI 2015. Pretreatment of lignocellulosic biomass from animal manure as a means of enhancing biogas production. *Eng. Life Sci.* 15, 733-742.
- NAUMANN, S., FRELIH-LARSEN, A., 2009. Klimaschutz in der Landwirtschaft - Ziele und Anforderungen zur Senkung von Treibhausgasemissionen. NABU, Berlin.
- NETTHISINGHE, A. M., COOK, K. L., RICE, C., GILFILLEN, R. A., SISTANI, K. R. 2013. Soil Nutrients, Bacteria Populations, and Veterinary Pharmaceuticals across a Backgrounding Beef Feedlot. *J Environ Qual*, 42, 532-44.
- NEVE, S.D., HOFMAN, G., 2000. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues. *Biol Fertil Soils* 30, 544-9.
- NHUCHHEN, D.R., BASU, P., ACHARYA, B. 2014. A comprehensive review on biomass torrefaction. *Int. J. Renew Energy Biofuels* 56, 1-56.
- NITSCH, H., ROGGENDORF, W., OSTERBURG, B., 2009. Landwirtschaftliche Flächennutzung im Wandel – Folgen für Natur und Landschaft: Eine Analyse agrarstatistischer Daten. NABU/DVL, Berlin/Ansbach.
- NN 2014. Environmental assessment for Aquaflor (florfenicol) 50% type A medicated article for cat-fish. Schering-Plough animal health. In: INAD: Investigational new animal drug (INAD 8519) FDA: Center for veterinary medicine. Heruntergeladen von: <http://www.fda.gov/downloads/AnimalVeterinary/.../ucm072391.pdf>, 1-73.
- O'DRISCOLL, K., BOYLE, L., HANLON, A. 2009. The effect of breed and housing system on dairy cow feeding and lying behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, 116(2), 156-162.
- ONCU, N. B., BALCIOGLU, I. A. 2013. Degradation of ciprofloxacin and oxytetracycline antibiotics in waste sewage sludge by ozonation. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 16(1), 107-116.

- OPPERMANN, R., GELHAUSEN, J., MATZDORF, B., REUTTER, M., LUICK, R., STEIN, S., 2012. Gemeinsame Agrarpolitik ab 2014: Perspektiven für mehr Biodiversitäts- und Umweltleistungen der Landwirtschaft? F&E Projekt des BfN „Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) 2013 und Erreichung der Biodiversitäts- und Umweltziele“.
- OSTERBURG B., TECHEN A.-K. 2012. Evaluierung der Düngeverordnung - Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung: Abschlussbericht. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- ÖTKER, H.M., AKMEHMET-BALCIOĞLU, I. 2005. Adsorption and degradation of enrofloxacin, a veterinary antibiotic on natural zeolite. *J. Hazard. Mater.* 122, 251-258.
- PALZER, A. 2014. Antibiotikaeinsatz: Vorbild Dänemark? Berlin: Bundesverband Praktizierender Tierärzte (bpt).
- PAN, S.H., LO, K.V., LIAO, P.H., SCHREIER, H. 2006. Microwave pretreatment for enhancement of phosphorus release from dairy manure. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes* 41, 451–458.
- PARK, K.Y., AHN, K.H., MAENG, S.K., HWANG, J.H., KWON, J.H. 2003. Feasibility of sludge ozonation for stabilization and conditioning. *Ozone Sci. Eng.* 25, 73–80.
- PARKINSON, R., GIBBS, P., BURCHETT, S., MISSELBROOK, T. 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.* 91, 171–178.
- PEINHOFER, V. 2013. Umfrage zur Schmerzbeurteilung und Schmerzbehandlung beim Rind durch bayerische Tierärzte und Landwirte. Inaugural-Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität.
- PENNING, M., TEPPEMA, J. 2015. (Tier-)Arzneimittel. Antibiotika-Rückstände im oberflächennahen Grundwasser. Brake: Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV).
- PÉREZ, S., P. EICHHORN, D.S. AGA 2005. Evaluating the biodegradability of sulfamethazine, sulfamethoxazole, sulfathiazole, and trimethoprim at different stages of sewage treatment. *Environ. Toxicol. Chem.* 24, 1361–1367.
- PETERSEN B, SPILLER A, L THEUVSEN (HRSG.) 2010. Vom Viehvermarkter zum Dienstleistungsprofi Medienhaus Plump, Rheinbreitbach, ISBN 978-3-00-031973-0
- PETERSEN J, SØRENSEN P 2008. Loss of nitrogen and carbon during storage of the fibrous fraction of separated pig slurry and influence on nitrogen availability. *J Agric Sci* 146:403–413.
- PETERSEN, B., LEHNERT, S., STEINHOFF-WAGNER, J. 2016. Zusammenfassung verschiedener Bedarfsanalysen für die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften im Agri- Foodsektor . Diverse Abschlussarbeiten. Universität Bonn.
- PETERSEN, B., MACK, A., SCHÜTZ, V., SCHULZE ALTHOFF, G. 2007. Nahtstelle als neuralgischer Punkt – 3-Ebenen-Modell zur Weiterentwicklung überbetrieblicher Qualitätsmanagement-Systeme. *Fleischwirtschaft*, 4, 6.
- PETERSEN, B., NÜSSEL, M., HAMER, M. 2014. Quality and Risk management in the agri-food chains (Vol. 1): Wageningen Academic Publishers.
- PETERSEN, S.O., LIND A.-M., SOMMER S.G. 1998. Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure. *J Agric Sci* 130, 69–79.
- PFEIFER, Y., WITTE, W., WERNER, G. 2016: ESBL-bildende Enterobacteriaceae bei Mensch und Tier. Online verfügbar unter: http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Antibiotikaresistenz/LA_MRSA_und_ESBL.html;jsessionid=5E78A3239EDBFE5FC4840F9AB8DAD23A.2_cid290#doc2774670bodyText11
- POULIQUEN, H., LE BRIS, H. 1996. Sorption of oxolinic acid and oxytetracycline to marine sediments. *Chemosphere* 33, 801–815.
- POPOVA, I.E., D.A. BAIR, K.W. TATE, S.J. PARIKH, 2014. Sorption, Leaching, and Surface Runoff of Beef Cattle Veterinary Pharmaceuticals under Simulated Irrigated Pasture Conditions. *J. Environ. Qual.* 42:1167–1175.
- PRUDEN, A., R. PEI, H. STORTEBOOM, K.H. CARLSON 2006. Antibiotic resistance genes (ARG) as emerging contaminants: Studies in northern Colorado. *Environ. Sci. Technol.* 40, 7445-7450.
- QIAN SUI, XUQI CAO, SHUGUANG LU, WENTAO ZHAO, ZHAOFU QIU, GANG YU 2015. Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products in the groundwater: A review.- *Emerging Contaminants* 1, 14-24.
- QS-PRESSEMELDUNGEN. <https://www.q-s.de/presse-newsroom/presse-und-newsroom.html>

- QUIGLEY, J. D., KOST, C. J., WOLFE, T. M. 2002. Absorption of Protein and IgG in Calves - Fed a Colostrum Supplement or Replacer. *Journal of Dairy Science* 85, 6.
- QURESHI, A., LO, K.V., LIAO, P.H. 2008. Microwave treatment and struvite recovery potential of dairy manure. *J. Environm. Sci. and Health, Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes* 43, 350–357.
- RABAEY, K., VERSTRAETE, W. 2005. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *TRENDS in Biotechnology* 23, 291-298.
- RABØLLE, M., SPLIID, N.H. 2000. Sorption and mobility of metronidazole, olaquinox, oxytetracycline and tylosin in soil. *Chemosphere* 40, 715–722.
- RADJENOVIC, J., PETROVIC, M., VENTURA, F., BARCELÓ, D. 2008. Rejection of pharmaceuticals in nanofiltration and reverse osmosis membrane drinking water treatment. *Water Res.* 42, 3601-3610.
- RAMASWAMY, J., PRASHER, S.O., PATEL, R.M., HUSSAIN, S.A., BARRINGTON, S.F. 2010. The effect of composting on the degradation of a veterinary pharmaceutical. *Bioresour. Technol.* 101, 2294–2299.
- RAMS, J. 2016. Umfrage zu Alternativen der betäubungslosen Kastration beim Ferkel (bisher unveröffentlichte Ergebnisse einer Bachelorarbeit), Universität Bonn.
- RAMS, J., STEINHOFF-WAGNER, J., PETERSEN, B. 2015. Recherche in juristischen Datenbanken im Rahmen dieses Projektes zu Verstößen im Bereich des Einsatzes von Leistungsförderern. Universität Bonn.
- RAMS, J., STEINHOFF-WAGNER, J., PETERSEN, B. 2015. Telefonische Umfrage im Rahmen dieses Projektes bei Futterwerken (n > 10) zur Nachfrage von arzneimittelhaltigen Futtermischungen. Universität Bonn.
- RANTZER, D., WESTROM, B., SVENDSEN, J. Effects of different levels of pen hygiene from birth to 4 weeks after weaning on pig health, growth and immune parameters. 15th International Pig Veterinary Society Congress. 1998. pp 55.
- RATSAK, C., GUHL, B., ZÜHLKE, S., DELSCHEN, T. 2013. Veterinärantibiotikarückstände in Gülle und Gärresten aus NRW. *Environmental Sciences Europe* 25:7. doi:10.1186/2190-4715-25-7
- REGULA, G., DANUSER, J., SPYCHER, B., WECHSLER, B. 2004. Health and welfare of dairy cows in different husbandry systems in Switzerland. *Preventive veterinary medicine* 66, 247-264.
- REICHENBERGER, S., BACH, M., SKITSCHAK, A., FREDE, H. G. 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. *Sci Total Environ*, 384, 1-35.
- REITERFORUM. 2009. Ergebnisse einer Online-Umfrage zur Entwurmung beim Pferd. www.pferd.de
- RESKI-WEIDE, B. 2013. Inzidenz der Neugeborenenarrhoe bei Kälbern in Abhängigkeit von exogenen Faktoren – eine Praxisstudie. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- ROSE, K.P., FARENHORST, A., CLAEYS, A., ASCEF, B. 2014. 17 β -estradiol and 17 α -ethinylestradiol mineralization in sewage sludge and biosolids. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 49, 871-879.
- ROTO, S. M., RUBINELLI, P. M., RICKE, S. C. 2015. An Introduction to the Avian Gut Microbiota and the Effects of Yeast-Based Prebiotic-Type Compounds as Potential Feed Additives. *Frontiers in Veterinary Science*, 2, 28. doi:10.3389/fvets.2015.00028
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU), 2015. Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem (Sondergutachten). Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), Berlin.
- SAHLSTRÖM, L. 2003. A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource technology* 87, 161-166.
- SAKTAYWIN, W., TSUNO, H., NAGARE, H., SOYAMA, T., WEERAPAKKAROON, J. 2005. Advanced sewage treatment process with excess sludge reduction and phosphorus recovery. *Water Research* 39, 902–910.
- SARMAH, A.K., MEYER, M.T., BOXALL, A. 2006. A global perspective on the use, sales, exposure path-ways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere* 65, 725–759.
- SASSMAN, S.A., LEE, L.S. 2007. Sorption and degradation in soils of veterinary ionophore antibiotics: monensin and lasalocid. *Environ. Toxicol. Chem.* 26, 1614–1621.

- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P. 2002. Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg [u.a.].
- SCHLENKER, G., BIRKELBACH, C., GLATZEL, P.S. 1999. Analysis of the influence of temperature on the stability of sex steroids in cow feces. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 112, 459–464.
- SCHLÜSENER, M.P., VON ARB, M.A., BESTER, K. 2006. Elimination of macrolides, tiamulin, and salinomycin during manure storage. *Archives of environmental contamination and toxicology* 51, 21-28.
- SCHMITHAUSEN, R. 2015 (Diss. Agr., Bonn): Transfer of multidrug-resistant pathogens between humans and animals. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn.
- SCHMITHAUSEN, R. M., KELLNER, S. R., SCHULZE-GEISTHOEVEL, S. V., HACK, S., ENGELHART, S., BODENSTEIN, I., AL-SABTI, N., REIF, M., FIMMERS, R., KORBER-IRRGANG, B., HARLIZIUS, J., HOERAUF, A., EXNER, M., BIERBAUM, G., PETERSEN, B., BEKEREDJIAN-DING, I. 2015a. Eradication of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and of Enterobacteriaceae expressing extended-spectrum beta-lactamases on a model pig farm. *Applied and environmental microbiology*, 81, 7633-43.
- SCHMITHAUSEN, R. M., KELLNER, S. R., SCHULZE-GEISTHOEVEL, S. V., HACK, S., ENGELHART, S., BODENSTEIN, I., AL-SABTI, N., REIF, M., KOERBER-IRRGANG, B., HARLIZIUS, J., HOERAUF, A., EXNER, M., BIERBAUM, G., PETERSEN, B., BEKEREDJIAN-DING, I. 2015b. Surveillance of eradication of MRSA and ESBL-E on a model pig farm. *American Society For Microbiology*
- AgE (2015): Antibiotika: Ein Tierarzt redet Klartext. In: Wochenblatt für Landwirtschaft & Landleben, <http://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/nachrichten/antibiotika-ein-tierarzt-redet-klartext-10439.html>
- SCHULZE-EHLERS, B. und PURWINS, N. 2015. Erweiterung eines Markenfleischprogrammes – die Sicht des Verbrauchers. Vortrag im Rahmen eines Projekttreffens, November 2015, Nortorf.
- SCHULZE-GEISTHÖVEL, S. 2015. System innovations promoting health management in pig production chains.
- SCHÜTZ, V. 2009. Modell zur Planung von Dienstleistungen für das überbetriebliche Gesundheitsmanagement in der Fleischwirtschaft. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn.
- SELVAM, A., ZHAO, Z., WONG, J.W. 2012. Composting of swine manure spiked with sulfadiazine, chlortetracycline and ciprofloxacin. *Bioresource technology* 126, 412-417.
- SHEETS, J.P., YANG, L., GE, X., WANG, Z., LI, Y. 2015. Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management* 44, 94-115.
- SHI, J.C., LIAO, X.D., WU, Y.B., LIANG, J.B. 2011. Effect of antibiotics on methane arising from anaerobic digestion of pig manure. *Animal feed science and technology* 166, 457-463.
- SLANA, M., SOLLNER-DOLENC, M. 2015. Enrofloxacin degradation in broiler chicken manure under various laboratory conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-8.
- SØEBORG, T., INGERSLEV, F., HALLING-SØRENSEN, B. 2004. Chemical stability of chlortetracycline and chlortetracycline degradation products and epimers in soil interstitial water. *Chemosphere* 57, 1515-1524.
- SONG, W., DING, Y., CHIOU, C.T., LI, H., 2010. Selected Veterinary Pharmaceuticals in Agricultural Water and Soil from Land Application of Animal Manure. *Journal of Environment Quality* 39, 1211-7.
- STEINHOFF-WAGNER, J. 2016. Unveröffentlichte Literaturrecherche zu bestehenden Fütterungsempfehlungen für Jungtiere im Rahmen eines Projektantrages. Universität Bonn.
- STOOB, K. S., H. P.; MUELLERS, S. R.; SCHWARZENBACH, R. P.; STAMM, C. H. 2007. Dissipation and Transport of Veterinary Sulfonamide Antibiotics after Manure Application to Grassland in a Small Catchment. *Environmental Science & Technology*, 41, 7349-7355.
- STORTEBOOM, H.N., KIM, S.C., DOESKEN, K.C., CARLSON, K.H., DAVIS, J.G., PRUDEN, A. 2007. Response of antibiotics and resistance genes to high-intensity and low-intensity manure management. *J. Environ. Qual.* 36, 1695–1703.
- STUER-LAURIDSEN, F., BIRKVED, M., HANSEN, L.P., HOLTEN-LÜTZHOFT, H.C., HALLING-SØRENSEN, B. 2000. Environmental risk assessment of human pharmaceuticals in Denmark after normal therapeutic use. *Chemosphere* 40, 783–793.

- SUN, Y., CHENG, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour. Technol.* 83, 1–11.
- SURA, S., DEGENHARDT, D., CESSNA, A.J., LARNEY, F.J., OLSON, A. F., MCALLISTER, T.A. 2014. Dissipation of three veterinary antimicrobials in beef cattle feedlot manure stockpiled over winter. *J Environm Qual* 43, 1061-1070.
- TANG, X., ZHU, B., KATOU, H. 2012. A review of rapid transport of pesticides from sloping farmland to surface waters: Processes and mitigation strategies. *Journal of Environmental Sciences*, 24, 351-361.
- TATE, K. W. A., E. R.; BARTOLOME, J.; NADER, G. 2006. Significant *Escherichia coli* Attenuation by Vegetative Buffers on Annual Grasslands. *Journal of Environmental Quality* 35, 795-805.
- TAUBE, F., T. APPEL, T EBERTSEDER, T. MÜLLER, H.-W. OLFS, L. NÄTSCHER, K. SCHWEITZER, D. STEFFENS, F. WIESLER, W. ZORN 2015. Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung - Anpassung der Richtwerte für die Gehaltsklassen ist geboten und notwendig.
http://www.vdlufa.de/content/view/131/94/Methodenbuch/index.php/de/joomla/Dokumente/Positionspapiere/2015_Phosphord%C3%BCngung_nach_Bodenuntersuchung.pdf.
- TEETER, J.S., MEYERHOFF, R.D. 2003. Aerobic degradation of tylosin in cattle, chicken, and swine excreta. *Environ. Res.* 93, 45–51.
- TELEZHENKO, E., BERGSTEN, C. 2005. Influence of floor type on the locomotion of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 93, 183–197.
- TERNES, T.A., HERRMANN, N., BONERZ, M., KNACKER, T., SIEGRIST, H., JOSS, A. 2004. A rapid method to measure the solid–water distribution coefficient (Kd) for pharmaceuticals and musk fragrances in sewage sludge. *Water Res.* 38, 4075–4084.
- TERNES, T.A., MEISENHEIMER, M., MCDOWELL, D.S.F., BRAUCH, H.-J., HAIST-GULDE, B., PRUESS, G., WILME, U., ZULEI-SEIBERT, N. 2002. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 36, 3855–3863.
- THIELE-BRUHN, S. 2003. Pharmaceutical antibiotic compounds in soils—a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166, 145-167.
- TIJANI, J.O., FATOBA, O.O., PETRIK, L.F. 2013. A review of pharmaceuticals and endocrine-disrupting compounds: sources, effects, removal, and detections. *Water, Air, & Soil Pollution* 224, 1-29.
- TOLLS, J. 2001. Sorption of Veterinary Pharmaceuticals in Soils: A Review. *Environ. Sci. Technol.*, 35, 3397–3406.
- TURKER, G., INCE, O., ERTEKIN, E., AKYOL, C., INCE, B. 2013. Changes in performance and active microbial communities due to single and multiple effects of mixing and solid content in anaerobic digestion process of otc medicated cattle manure. *Int. J. Renew. Energ. Res.* 3, 144–148.
- ULLRICH, E., KRÜGER, C., BERGFELD, U. 2006. Gesundheits- und Hygienemanagement in ökologisch wirtschaftenden Betrieben mit Milchkühen. *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft* 3, 1-23.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2014a. Ökologische Vorrangflächen – unverzichtbar für die biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft! Position des Bundesamtes für Naturschutz, des Umweltbundesamtes und der Kommission Landwirtschaft am Umweltbundesamt zur nationalen Umsetzung von Ökologischen Vorrangflächen.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2014b. Arzneimittel in der Umwelt - vermeiden, reduzieren, überwachen. Hintergrundpapier, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/01.08.2014_hintergrundpapier_arzneimittel_final.pdf
- UBA AUT. 2014. Monitoringprogramm von Pharmazeutika und Abwasserindikatoren in Grund- und Trinkwasser.- laufendes Projekt des UBA Österreich und der AGES (unveröff.).
- UNGER, I. M., GOYNE, K. W., KENNEDY, A. C., KREMER, R. J., MCLAIN, J. E. T., WILLIAMS, C. F. 2013. Antibiotic Effects on Microbial Community Characteristics in Soils under Conservation Management Practices. *Soil Science Society of America Journal*, 77, 100.
- UNGER, I. M., GOYNE, K. W., KREMER, R. J., KENNEDY, A. C. 2012. Microbial community diversity in agroforestry and grass vegetative filter strips. *Agroforestry Systems*, 87, 395-402.
- USLU, M.O., BALCIOGLU, I.A. 2008. Ozonation of animal wastes containing oxytetracycline. *Ozone: Science and Engineering* 30, 290-299.

- VAN RENNINGS, L., VON MUNCHHAUSEN, C., OTTILIE, H., HARTMANN, M., MERLE, R., HONSCHA, W., KASBOHRER, A., KREIENBROCK, L. 2015. Cross-sectional study on antibiotic usage in pigs in Germany. *PLoS One*, 10, e0119114.
- VAREL, V.H., WELLS, J.E., SHELVER, W.L., RICE, C.P., ARMSTRONG, D.L., PARKER, D.B. 2012. Effect of an-aerobic digestion temperature on odour, coliforms and chlortetracycline in swine manure or monensin in cattle manure. *J. Appl. Microbiol.* 112, 705–715.
- VIDAURRE, R., TOURAUD, E., ROIG, B., KAMPA, E. 2010. "Pharmaceuticals in the Environment - Recommendations on communication and education." In Roig, B. (Ed.): *Pharmaceuticals in the Environment. Current knowledge and need assessment to reduce presence and impact.* IWA publishing, London, UK.
- WALLMANN, J., BENDER, A., REIMER, I., HEBERER, T. 2015. Abgabemengenerfassung antimikrobiell wirksamer Stoffe in Deutschland 2014. Auswertung der nach DIMDI-AMV eingereichten Daten 2014 und Vergleich mit den Daten aus 2011. *Deutsches Tierärzteblatt*, 9, 1260-1265.
- WANG, Q., YATES, S.R. 2008. LABORATORY study of oxytetracycline degradation kinetics in animal manure and soil. *J. Agric Food Chem* 56. 1683–1688.
- WANG, Q.-Q., S.A. BRADFORD, W. ZHENG, S.R. YATES, 2006. Sulfadimethoxine Degradation Kinetics in Manure as Affected by Initial Concentration, Moisture, and Temperature. *J. Environ. Qual.* 35, 2162–2169.
- WBA 2015. Online verfügbar unter http://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/_Texte/AgrOrganisation.html;nn=429108
- WEN, Z., LIAO, W., CHEN, S. 2004. Hydrolysis of animal manure Lignocellulosic for reducing sugar production. *Bioresour. Technol.* 91, 31–39.
- WESTERHOFF, P., YOON, Y., SNYDER, S., WERT, E. 2005. Fate of endocrine-disruptor, pharmaceutical, and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment processes. *Environ. Sci. Technol.* 39, 6649–6666.
- WINCKLER, C., GRAFE, A. 2000. Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung unter Berücksichtigung verschiedener Böden. Vorläufiger Abschlussbericht für die Landwirtschaftskammer Weser-Ems. *Forschungsbericht* 297, 33911.
- WINCKLER, C., ENGELS, H., HUND-RINKE, K., LUCKOW, T., SIMON, M., STEFFENS, G. 2004. Verhalten von Tetrazyklinen und anderen Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden: Wirkung von Tetrazyklinen und anderen Tierarzneimitteln auf die Bodenfunktion (No. 44/04), Texte. Umweltbundesamt, Berlin.
- WINCKLER, CHR., ENGELS, H., HUND-RINKE, K., LUCKOW, TH., SIMON, M., STEFFENS, G. 2004. Verhalten von Tetrazyklinen und anderen Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden (Wirkung von Tetrazyklinen und anderen Tierarzneimitteln auf die Bodenfunktion). Umweltbundesamt Texte 44/04, Berlin.
- WITHEY, J.M., MUGO, S.M., ZHOU, T., ROSSER, P.M., GAO, T. 2016. Depletion of hormones and antimicrobials in cattle manure using thermophilic anaerobic digestion. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* (im Druck).
- WU, C., SPONGBERG, A.L., WITTER, J.D. 2008. Determination of the persistence of pharmaceuticals in biosolids using liquid-chromatography tandem mass spectrometry. *Chemosphere* 73, 511–518.
- WU, X., WEI, Y., ZHENG, J., ZHAO, X., ZHONG, W. 2011. The behavior of tetracyclines and their degradation products during swine manure composting. *Bioresource technology* 102, 5924-5931.
- WU-HAAN, W., BURNS, R.T., MOODY, L.B., GREWELL, D.A., RAMAN, D.R. 2010. Evaluation of ultrasonic pretreatment on anaerobic digestion of different animal manures. *Transactions of the ASABE* 53, 577.
- YANFENG, H., YUNZHI, P., XIUJIN, L., ET AL. 2009. Investigation on the changes of main compositions and extractions of raw rice straw pre-treated with sodium hydroxide for biogas production. *Energy Fuels* 23, 2220–2222.
- YAO, H., SUN, P., MINAKATA, D., CRITTENDEN, J.C., HUANG, C.H. 2013. Kinetics and modeling of degradation of ionophore antibiotics by UV and UV/H₂O₂. *Environmental science & technology* 47, 4581-4589.
- ZHANG, G., JI, S., XI, B. 2006. Feasibility study of treatment of amoxicillin wastewater with a combination of extraction, Fenton oxidation and reverse osmosis. *Desalination* 196, 32-42.

- ZHANG, G., ZHAO, Q., JIAO, Y., WANG, K., LEE, D. J., REN, N. 2012. Biocathode microbial fuel cell for efficient electricity recovery from dairy manure. *Biosensors and Bioelectronics* 31, 537-543.
- ZHANG, Y., ANGELIDAKI, I. 2015. Submersible microbial desalination cell for simultaneous ammonia recovery and electricity production from anaerobic reactors containing high levels of ammonia. *Biores. Technol.* 177, 233-239.
- ZHAO, F., HARNISCH, F., SCHRÖDER, U., SCHOLZ, F., BOGDANOFF, P., HERMANN, I. 2006. Challenges and constraints of using oxygen cathodes in microbial fuel cells. *Biosens. Bioelectron.* 24, 2825–2829.
- ZHAO, Z., FANG, Y., LOVE, N.G., KNOWLTON, K.F. 2009. Biochemical and biological assays of endocrine disrupting compounds in various manure matrices. *Chemosphere*, 74, 551–555.
- ZHENG, W., YATES, S.R., BRADFORD, S.A. 2008. Analysis of steroid hormones in a typical dairy waste disposal system. *Environmental Science & Technology* 42, 530–535.
- ZHENG, W., ZOU, Y., LI, X., MACHESKY, M.L. 2013. Fate of estrogen conjugate 17 α -estradiol-3-sulfate in dairy wastewater: Comparison of aerobic and anaerobic degradation and metabolite formation. *Journal of hazardous materials* 258, 109-115.
- ŽIŽEK, S., DOBEIC, M., PINTARIČ, Š., ZIDAR, P., KOBAL, S., VIDRIH, M. 2014. Degradation and dissipation of the veterinary ionophore lasalocid in manure and soil. *Chemosphere* 138, 947–951
- ZURHELLE, G. 2000. Entwicklung und Anwendung einer automatisierten HPLC-Methode mit gekoppelter online Dialyse: Metabolismus, Verteilung und Elimination dreier Tetrazykline bei Legehennen. Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal, Dissertation.

13 Anhang

Tabelle 10: Abbauraten und Halbwertszeiten ausgewählter Tierarzneimittel bei passiver Lagerung von Wirtschaftsdüngemitteln

Wirkstoff	Substrat(e)	Abbauraten (%)	Halbwertszeit (d)	Quelle
Tetrazykline:				
Chlortetrazyklin	Festmist (Pferd, Milchvieh, Rinderzucht)	95 - > 99	2 - 22	Storteboom et al. 2007, Arikan et al. 2007, Arikan et al. 2009b, Kim et al. 2012, Sura et al. 2014
Chlortetrazyklin	Gülle (Schwein, Rind)	85 - > 99	1	Joy et al. 2014, Withey et al. 2015, Chang et al. 2014
Doxyzyklin	Stabilisierte Klärschlämme	30-35	53 - > 77	Wu et al. 2008, Szatmari et al. 2011
Oxytetrazyklin	Festmist (Milchvieh, Rinder- und Schweinezucht)	30 - > 99	8 - 31	Storteboom et al. 2007, Blackwell et al. 2005, Arikan et al. 2009b, De Liguoro et al. 2003, Wang & Yates 2008, Wu et al. 2011
Oxytetrazyklin	Gülle (Schwein)	> 99	-	Chang et al. 2014
Tetrazyklin	Stabilisierte Klärschlämme, Festmist (Pferd, Milchvieh, Rinderzucht, Geflügel)	30 - 98	17 - > 77	Wu et al. 2008, Storteboom et al. 2007, Winckler et al. 2004
Tetrazyklin	Gülle (Schwein)	0 - 93	> 180	Harms 2006, Chang et al. 2014
Sulfonamide:				
Sulfonamide	Festmist (Geflügel)	60-68	ca. 5*	Liu et al. 2015
Sulfadiazin	Gülle (Schwein)	14-50	102	Harms 2006, Kreuzig et al. 2007a, Lamshöft et al. 2010
Sulfadimidin	Festmist (Rinderzucht)	> 98	21	Sura et al. 2014
Sulfamerazin	Gülle (Schwein)	0	-	Harms 2006
Sulfamethoxazol	Gülle (Schwein)	80	-	Harms 2006
Makrolide:				
Erythromycin	Stabilisierte Klärschlämme, Gülle	90 - > 99	7 - 41	Wu et al. 2008, Schlüsener et al. 2006,
Clarithromycin	Stabilisierte Klärschlämme	> 99	1,1 – 1,9	Wu et al. 2008
Roxithromycin	Gülle	90	130	Schlüsener et al. 2006

Tylosin	Festmist (Pferd, Schweinezucht, Rinderzucht), Schweinegülle	> 99	< 1 - 13	Storteboom et al. 2007, Blackwell et al. 2005, De Liguoro et al. 2003, Kolz et al. 2005, Kim et al. 2012b
Tylosin	Gülle (Schwein, Rind)	40 - 95	10	Joy et al. 2014, Withey et al. 2015
Fluorchinolone:				
Ciprofloxacin	Stabilisierte Klärschlämme, Geflügelkot	0 - 73	-	Wu et al. 2008, Moraru et al. 2012
Difloxacin	Gülle (Schwein)	7	-	Lamshöft et al. 2010
Enrofloxacin	Gülle (Schwein), Geflügelkot	60 - 80	89	Harms 2006, Slana & Sollner-Dolenc 2015, Moraru et al. 2012
Andere Antibiotika:				
Bacitracin	Gülle (Schwein)	> 99	2	Joy et al. 2014
Clindamycin	Stabilisierte Klärschlämme	> 99	1,0 – 1,6	Wu et al. 2008
Florfenicol	Gülle (Schwein)	80	10	Harms 2006, NN 2004
Lincomycin	Gülle (Schwein)	68	-	Kuchta & Cessna 2009
Monensin	Festmist (Pferd)	43 - 95	30 - 88	Donoho 1984, Storteboom et al. 2007, Kim et al. 2012b, Sura et al. 2014
Spectinomycin	Gülle (Schwein)	97	-	Kuchta & Cessna 2009
Tiamulin	Gülle (Schwein)	10-25	> 180	Harms 2006, Schlüsener et al. 2006
Tiamulin	Gülle	0	> 200	Schlüsener et al. 2006
Trimethoprim	Gülle (Schwein)	> 99	< 2*	Harms 2006
Hormone:				
Natürliche Östrogene und deren Abbauprodukte	Festmist Milchvieh, Rinderkot	> 99	5 - 14	Zheng et al. 2008, Schlenker et al. 1999
Progesteron	Festmist Milchvieh, Rinderkot	> 99	5 - > 14	Zheng et al. 2008, Schlenker et al. 1999
Antiparasitika:				
Doramectin	Festmist (Schaf)	85-90	< 9	Celestina et al. 2009
Eprinomectin	Festmist (Milchvieh)	-	691-1491	Litskas et al. 2013
Flubendazol	Gülle (Schwein)	-	> 102	Kreuzig et al. 2007b

* eigene Umrechnungen

Tabelle 11: Wirkung der Kompostierung auf Abbauraten und Halbwertszeiten von Tierarzneimitteln in Wirtschaftsdüngemitteln

Wirkstoff	Substrat(e)	Abbau- rate (%)	Halbwerts- zeit (d)	Quelle
Tetrazykline:				
Chlortetrazyklin	Festmist (Schwein, Milchvieh, Geflügel, Pferden)	27 - 99	1 - > 42	Dolliver & Gupta 2008, Dolliver et al. 2008, Motoyama et al. 2011, Storteboom et al. 2007, Arikan et al. 2009a, b, Kim et al. 2012a, b, Selvam et al. 2012, Bao et al. 2009, Wu et al. 2011
Doxyzyklin	Geflügelkot	> 99	4	Ho et al. 2013
Oxytetrazyklin	Festmist (Schwein, Milchvieh, Geflügel, Pferden)	85 - 99	1 - 15	Motoyama et al. 2011, Storteboom et al. 2007, Arikan et al. 2008, 2009b, Wu et al. 2011
Tetrazyklin	Festmist (Schwein, Milchvieh, Geflügel, Pferden)	70 - 92	7 - 10	Motoyama et al. 2011, Storteboom et al. 2007, Wu et al. 2011
Sulfonamide:				
Sulfadiazin	Festmist Schwein	> 99	< 1 – 1,4	Selvam et al. 2012, Ho et al. 2013
Sulfadimethoxine	Festmist (Milchvieh)	> 99	-	Mitchell et al. 2015
Sulfadimidin	Festmist (Geflügel, Schwein, Rind)	0 - 99	2 - 240	Dolliver et al. 2008, Kim et al. 2012a, Liu et al. 2015, Cessna et al. 2011, Mitchell et al. 2015
Sulfamethoxazol	Festmist (Schwein, Milchvieh, Geflügel, Pferden)	95	2	Motoyama et al. 2011, Liu et al. 2015
Makrolide:				
Erythromycin	Festmist (Schwein, Milchvieh, Geflügel, Pferden)	67 - > 99	1,4	Motoyama et al. 2011, Ho et al. 2013
Tilmicosin	Geflügelkot	> 99	2,0	Ho et al. 2013
Tylosin	Festmist (Geflügel, Schwein, Pferd, Milchvieh)	20-99	2 - 24	Dolliver & Gupta 2008, Dolliver et al. 2008, Storteboom et al. 2007, Kim et al. 2012a,b, Ho et al. 2013, Cessna et al. 2011, Mitchell et al. 2015
Fluorquinolone:				

Enrofloxacin	Geflügelkot	80 - > 99	3 - 59	Ho et al. 2013, Slana & Sollner-Dolenc 2015
Levofloxacin	Festmist (Schwein, Milchvieh, Geflügel, Pferden)	81	-	Motoyama et al. 2011
Andere Antibiotika:				
Monensin	Festmist (Geflügel, Rinder, Pferd)	15-76	15 - 40	Dolliver & Gupta 2008, Dolliver et al. 2008, Storteboom et al. 2007, Kim et al. 2012b
Florfenicol	Festmist (Milchvieh)	90 - > 99	-	Mitchell et al. 2015
Trimethoprim	Festmist (Schwein, Milchvieh, Geflügel, Pferden)	86 - > 99	4	Motoyama et al. 2011, Ho et al. 2013
Hormone:				
Natürliche Östrogene & deren Abbauprodukte	Festmist (Rinder), Hühnerkot	10 - > 80	69 - 100	Hakk et al. 2005, Derby et al. 2011, Bartelt-Hunt et al. 2014
Progesteron	Festmist (Rinder), Geflügelkot	90 - > 99	2,4 - 23	Ho et al. 2013, Bartelt-Hunt et al. 2014

* eigene Umrechnungen

Tabelle 12: Wirkung der anaeroben Vergärung auf Abbauraten und Halbwertszeiten von Tierarzneimitteln

Wirkstoff	Substrat(e)	Abbau- rate (%)	Halbwerts- zeit (d)	Quelle
Tetracycline:				
Chlortetracyclin	Gülle (Schwein, Rind)	10 - > 99	> 21	Varel et al. 2012, Álvarez et al. 2010, Chen et al. 2012a, Withey et al. 2015, Spielmeier et al. 2015
Doxyzyklin	Gülle (Schwein)	57-98		Chen et al. 2012a
Oxytetracyclin	Gülle (Milchvieh, Schwein)	55 - < 99	ca. 10* - 27	Turker et al. 2013, Álvarez et al. 2010, Chen et al. 2012a
Tetracyclin	Gülle (Schwein)	14 - > 99	< 1	Shi et al. 2011, Chen et al. 2012a, Spielmeier et al. 2015
Sulfonamide:				
Sulfadiazin	Gülle (Schwein)	0 - > 99	< 6*	Mohring et al. 2009, Chen et al. 2012a, Spielmeier et al. 2015
Sulfamerazin,	Gülle (Schwein)	> 99	< 6*	Mohring et al. 2009
Sulfamethoxazol	Gülle (Schwein), Klärschlamm	31 - > 99	< 6*	Mohring et al. 2009, Carballa et al. 2006, 2007, Gartiser et al. 2007, Chen et al. 2012a
Sulfadimethoxin	Gülle (Schwein)	> 99	< 6*	Mohring et al. 2009
Sulfadimidin	Gülle (Schwein, Rind)	0 - 80	>34*	Chen et al. 2012a, Mohring et al. 2009, Mitchell et al. 2013, Withey et al. 2015, Spielmeier et al. 2015
Sulfamethoxyridazin	Gülle (Schwein)	72	ca. 17*	Mohring et al. 2009
B-Laktame:				
Amoxicillin	Klärschlamm	7	-	Gartiser et al. 2007
Ampicillin	Gülle (Rind)	> 99	< 2*	Mitchell et al. 2013
Benzylpenicillin	Klärschlamm	60	-	Gartiser et al. 2007
Makrolide:				
Erythromycin	Gülle (Schwein)	0 - 100		Chen et al. 2012a

Roxithromycin	Klärschlamm, Gülle (Schwein)	85 - 100		Carballa et al. 2006, Chen et al. 2012a
Tylosin	Gülle (Schwein, Rind), Kultursubstrat	95 - > 99	< 1	Loke et al. 2000, Chelliapan et al. 2006, Angenent et al. 2008, Mitchell et al. 2013, Withey et al. 2015
Fluorquinolone:				
Ofloxacin	Gülle (Schwein)	46 - 100	-	Chen et al. 2012a
Andere Antibiotika:				
Chloramphenicol	Gülle (Schwein)	0 - 100		Chen et al. 2012a
Florfenicol	Gülle (Rind, Schwein)	> 99	< 2*	Mitchell et al. 2013, Chen et al. 2012a
Monensin	Gülle (Rind)	8	-	Varel et al. 2012
Trimethoprim	Gülle (Schwein)	> 99	< 6*	Mohring et al. 2009
Hormone:				
Natürliche Östrogene und deren Abbauprodukte	Gülle (Rind), Klärschlamm	0 - 99	< 9) - 15*	Carballa et al. 2006, 2007, Le et al. 2013, Musson et al. 2010, Rose et al. 2014
Progesteron	Substrat auf Basis Klärschlamm	> 99	< 9*	Musson et al. 2010
Schmerzmittel:				
Paracetamol	Substrat auf Basis Klärschlamm	0	> 56*	Musson et al. 2010

* eigene Umrechnungen

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Maßnahmen der Broschüre in Bezug auf die Verstärkung ihrer Wirkung auf die Reduktion von Tierarzneimitteln in der Umwelt. (Die Nummern bilden die Kapitelnummern ab. Die Kapitel sind zur besseren Orientierung farblich gekennzeichnet.)

	Maßnahmen	2. Eintragsminimierung von TAM	3. Abgabe- u. Verbrauchsmengen u. Subst.-potentiale	4. Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit	5. Düngeraufbereitung	6. Expositionsminderung	7. Landwirtschaftliche Praktiken	8. Vorsorge durch Kommunikation	9. Umweltmonitoring
2.2	Besetzung von Gremien nach dem One-Health Prinzip	2.2							
2.3	Neubewertung umweltkritischer Substanzen und Förderung von umweltfreundlichen Substanzen	X 2.3							
2.4	Erweiterung der Bewertungskriterien hinsichtlich der Umweltrisiken bei oral anzuwendenden Fertigarzneimitteln	X 2.4							
3.2	Erweiterung der Antibiotika-Datenbank zu einer Tierarzneimittel-Datenbank	X	3.2						
3.3	Harmonisierung von Therapieindizes	X	X 3.3						
3.4	Festlegung von antimikrobiellen Wirkstoffen mit besonderer Bedeutung in der Veterinärmedizin durch ein einzurichtendes Fachgremium	X X X	X 3.4						
3.5	Einführung eines Sachkundenachweises für den Einsatz von Schmerzmitteln	X	X 3.5						
4.2	Reduktion des Keimdrucks	X X	X	4.2					

	Maßnahmen	2. Eintragsminimierung von TAM	3. Abgabe- u. Verbrauchsmengen u. Subst.-potentiale	4. Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit	5. Düngeraufbereitung	6. Expositionsminderung	7. Landwirtschaftliche Praktiken	8. Vorsorge durch Kommunikation	9. Umweltmonitoring
4.3	Risikoorientiertes Gesundheitsmanagement	X X		X 4.3					
4.4	Produktionsbegleitende Monitoring-verfahren	X		X 4.4					
4.5	Artgerechte Haltungsbedingungen	X		X X 4.5					
4.6	Stärkung des Immunsystems			X X 4.6					
4.7	Bedarfsgerechte Fütterung	X		X X X 4.7				X	
5.2	Passive Lagerung von Wirtschaftsdüngermittel	X	X		5.2				
5.3	Kompostierung von festen Wirtschaftsdüngern oder Belüftung von Flüssigdüngemitteln	X	X		X 5.3				
5.4	Anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger	X	X		X X 5.4				
5.5	Aufwändigere Ansätze der Flüssigmistzwischen- und -nachbehandlung	X	X		X X 5.5				
6.2	Risikominderungsmaßnahmen bei der Umweltrisikobewertung für Tierarzneimittel	X	X		X X X X	6.2			
6.3	Feldstreifen, Ackerrandstreifen oder Gewässerrandstreifen als Pufferzonen				X X X X	6.3			
6.4	Anpassung der Düngeterminierung (witterungsbedingt und saisonal)				X X X X	X X 6.4			



	Maßnahmen	2. Eintragsminimierung von TAM	3. Abgabe- u. Verbrauchsmengen u. Subst.-potentiale	4. Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit	5. Düngeraufbereitung	6. Expositionsminderung	7. Landwirtschaftliche Praktiken	8. Vorsorge durch Kommunikation	9. Umweltmonitoring
6.5	Pflanzenkläranlagen zur Tierarzneimittelminderung im Oberflächenabfluss tierproduzierender Betriebe			X	X X X X	X X 6.5			
6.6	Förderung abflussbremsender Strukturen, Vermeidung abflussbegünstigender Strukturen				X X X X	X X X 6.6			
6.7	Flächenmanagement in tierhaltenden Betriebe			X		X X X X X 6.7			
6.8	Vermeidung des Aufkommens von tierarzneimittelhaltiger Sperrmilch	X				6.8.			
6.9	Fachgerechte Entsorgung von Medikamentenresten und Altmedikamenten	X	X	X		X 6.9			
7.2	Verschärfung der bedarfsgerechten Düngung	X X			X X X X	X X X X 7.2			
7.3	Angepasste Ausbringung von flüssigem Wirtschaftsdünger	X			X X	X X 7.3			
7.4	Anpassung der Sperrfristen und Düngung nach Nährstoffbedarf	X			X X X X	X X X X 7.4			
7.5	Einführung bundeseinheitlicher Vorgaben für das Fassungsvermögen von Anlagen zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern	X			X X	X X X X 7.5	X X		
7.6	Präzisierung der Beschränkungen für das Aufbringen von Düngemitteln	X			X X X X	X X X X 7.6	X X		
7.7	Bodenverdichtung vermeiden					X X X 7.7			

	Maßnahmen	2. Eintragsminimierung von TAM	3. Abgabe- u. Verbrauchsmengen u. Subst.-potentiale	4. Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit	5. Düngeraufbereitung	6. Expositionsminderung	7. Landwirtschaftliche Praktiken	8. Vorsorge durch Kommunikation	9. Umweltmonitoring
7.8	Humusgehalt erhöhen und biologische Aktivität fördern	X			X X X	X X X	X X 7.8		
7.9	Erosionsschutz					X X X	X X X X 7.9		
8.2	Umweltaspekte in die Ausbildung integrieren	X	X X				8.2		
8.3	Erweiterung des Weiterbildungsangebots für Tierhalter und Tierärzte	X X	X X X	X X X X X X		X X X	8.3		
8.4	Informationskampagnen zu risikomindernden Praktiken für Tierärzte und Landwirte	X X	X X X	X X X X X X		X X X	X 8.4		
8.5	Wissenstransfer zu alternativer Entwurmung und Anpassung der geltenden Empfehlungen		X	X X			X X 8.5		
8.6	Informationskampagnen für Phytotherapeutika und Futtermittelzusatzstoffe	X		X X X X	X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X 8.6		
8.7	Informationskampagnen für die breitere Öffentlichkeit zum Thema Tierarzneimittel in der Umwelt	X	X X X	X X X X		X X	X 8.7		
9.2	Überwachung der Abluft von Stallstäuben auf Antibiotika-Wirkstoffe	X X		X X X X X X		X	X X X X 9.2		
9.3	Monitoring (Screening) von organischen Wirtschaftsdüngern auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe	X X	X X	X X X X X X	X X X X	X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X	9.3
9.4	Screening von Böden und Sickerwasser auf Tierarzneimittel-Wirkstoffe	X X	X X	X X X X X X	X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X	X 9.4

	Maßnahmen	2. Eintragsminimierung von TAM	3. Abgabe- u. Verbrauchsmengen u. Subst.-potentiale	4. Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Tiergesundheit	5. Düngeraufbereitung	6. Expositionsminderung	7. Landwirtschaftliche Praktiken	8. Vorsorge durch Kommunikation	9. Umweltmonitoring
9.5	Sektorenübergreifendes Monitoring der Einträge von Antibiotika aus der Tierhaltung in die Umwelt	X X	X	X X X X X X	X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X X X	X X X X X X	X X 9.5
9.6	Layout eines Grundwasser-Monitorings für das Einzugsgebiet eines Wasserwerks	X	X	X X X X X X X	X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X X X	X X X	X X X 9.6
9.7	Überwachung der Emissionen einer großen Anlage zur Tierhaltung	X X	X X X X	X X X X X X X	X X X X	X X X	X X X X X X X X X X	X X X X	X X X 9.7



► **Diese Broschüre als Download**
<http://bit.ly/2dowYYI>

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt